man dann, wenn irgendwelche, seien es auch die geringfügigsten, Muskelbewegungen vorangegangen sind, hinreichend lange Zeit wartet, bis man an der gleichartigen Größe der Minutenvolumina erkennt, daß mit dem Versuche begonnen werden darf, weil vollkommene Beruhigung eingetreten ist.

Anders liegen die Verhältnisse bei der Zählung der Atemfrequenz. Für diese können mehrere Wege eingeschlagen werden und fast bei keinem kann man das Mitwirken subjektiver, mehr oder minder gewollter Einflußnahme der Versuchsperson auf die Atemfrequenz ausschließen. Es mögen hierüber einige allgemeine Bemerkungen vorangeschickt sein, um später die Resultate, welche die einzelnen Beobachter erhielten, diskutieren und um wieder das Feststehende von dem nur halb oder gar nicht Erwiesenen trennen zu können.

Das einfachste ist das Zählen der Atemfrequenz durch die Versuchsperson selbst. Es ist eine wiederholt betonte Tatsache, daß dies wohl stets zu einer starken, subjektiven Beeinflussung der Atemfrequenz führt, der sich auch der Geübte nicht zu entziehen vermag. Bei seinen Beobachtungen im Hochgebirge verwendete Fuchs[1] dieses Verfahren und betont, daß es ihm infolge großer Übung und wegen der langen Dauer der Versuchsreihen möglich gewesen sei, die Zahl der pro Minute ausgeführten Atemzüge einwandfrei zu zählen. Wir werden auf die Versuche dieses Autors noch näher einzugehen haben und glauben wohl sicher zum Schlusse berechtigt zu sein, daß gerade die von Fuchs gewählte Versuchsmethodik besonders leicht zu einer subjektiven Beeinflussung der Atemfrequenzen geführt haben dürfte, ganz abgesehen davon, daß wir es bei der Bestimmung seiner Atemfrequenz in Körperruhe kaum mit Ruheversuchen zu tun haben.

Ohne Zweifel zweckmäßiger ist die Zählung der Atemfrequenz durch eine zweite Versuchsperson und dies Verfahren wird ja fast stets auf den Kliniken geübt, in denen man ganz besonders bei der Zählung der Atemfrequenzen bei Kindern sehr vorsichtig vorgehen muß, wenn man keine unrichtigen Zahlen erhalten will. Allerdings wird man dabei nicht so verfahren, wie dies Fuchs beschreibt, und sich keinesfalls wundern, wenn dieser Autor unter den von ihm gewählten Versuchsbedingungen eine Beeinflussung der Atemfrequenz fand. Er schreibt: »Durch eine Reihe von Versuchen an mir selbst habe ich mich hinreichend davon überzeugt, daß die Veränderung der Atemfrequenz eine viel größere ist, wenn eine zweite Person plötzlich an das Bett des ruhig daliegenden Versuchsindividuums herantritt, um anscheinend dessen Puls zu zählen und so die Aufmerksamkeit der Versuchsperson von der Atmung abzulenken.« Man muß dabei noch bedenken, daß es sich bei Fuchs nur um Zählungen während einer Minute handelte.

Jeder, der über etwas reichere Erfahrung im Zählen der Atemfrequenz verfügt, weiß wohl, daß man dann, wenn man längere Zeit hinter dem Kopfende des Bettes des Patienten steht, ohne von diesem gesehen zu werden,[2] sich hinreichend Zeit läßt und für vollständige Ruhe im Raume sorgt, beim Zählen der Frequenz durch mehrere Minuten hindurch wirklich eindeutige Zahlen erhält. Es ist dies Verfahren, wie wohl allgemein anerkannt, das zweckmäßigste, wenn es auch nicht immer zur Durchführung das bequemste ist.

Ebenso zuverlässige Werte liefert die graphische Aufzeichnung der Atemfrequenz mittels des Luftübertragungsverfahrens, wenn man die Versuchsreihen sehr lange ausdehnt und es nicht mit allzu nervösen Personen zu tun hat. Nach einer Periode entschiedener Beeinflussung der Atmung werden die Atemzüge gleich tief und regelmäßig, als Versuchsperson gerät man dabei unter dem eintönigen Summen des Uhrwerkes in einen schläfrigen Zustand und vergißt den Zweck des Versuches bald ganz. Gerade die gleiche Tiefe der Atemzüge, die man an den Kurven, die bei solchen Versuchen in der Ebene erhalten werden, erkennt, dient sehr zur Stütze der Annahme, daß eine Beeinflussung der Atmung gefehlt habe, da man sofort wechselnde Ausschläge auftreten sieht, wenn das Versuchsindividuum seine Aufmerk-

[1] Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen Sozietät in Erlangen, Bd. 40.

[2] Gewiß hat auch die Zählung Mosso's verläßliche Werte geliefert. Mosso zählte vorerst durch lange Zeit den Puls und ging dann, ohne daß der Beobachtete es merkte, auf die Zählung der Atmung über.

samkeit der Atemtätigkeit zuwendet. Auch im Hochgebirge leistet die Methode, der sich besonders Mosso und seine Schule bedienten, gute Dienste.[1]

Es würde als idealste Versuchsbedingung gelten können, wenn man im Hochgebirge die Atemfrequenz nur im Schlafe zählen würde. Dem ist jedoch keineswegs so, denn, wie Mosso sowie Zuntz und Durig und auch wir in unseren neuen Versuchen wiederhölt beobachten konnten, ist die Atmung auf dem Monte Rosa im Schlafe eine wesentlich andere als jene im Wachen. Man überzeugt sich aber auch häufig genug, daß die Atemfrequenz pro Minute auf dem Monte Rosagipfel während des Wachens keine ganz konstante ist, selbst wenn alle äußere Beeinflussung fehlt und man kann wiederholt beobachten, daß die Versuchsperson ab und zu das Bedürfnis hat, tiefer Atem zu holen. Dieses Bedürfnis äußert sich in einer fast seufzerartigen, tiefen Respiration, an die sich dann eine etwas längere Atempause anschließt. Man darf daher keineswegs etwa jene Zählungen der Atemfrequenz im Hochgebirge schlechtweg als die idealsten und am wenigsten künstlich beeinflußten ansehen, bei welchen in einer einzigen Minute die gleichmäßigsten Werte für die Atemfrequenz pro Minute erhalten werden. Bei lange dauernden Versuchen verwischen sich natürlich in den Mittelwerten derartige Unregelmäßigkeiten.

Als dritter Weg für die Ermittlung der Atemfrequenz ist die Bestimmung der Zahl der Atemzüge während eines Respirationsversuches anzuführen. Die Versuchsperson atmet durch die Gasuhr und zählt ununterbrochen während ungefähr einer halben Stunde die Zahl der Atemzüge. ohne eine Vorstellung darüber zu besitzen, wie viel Zeit während der Beobachtung verstrich oder wie viel Atemzüge etwa auf eine Minute entfallen. Hiebei hält das Versuchsindividuum die Augen geschlossen und bleibt bewegungslos in Rückenlage liegen während der Experimentator an der Hand der Rennuhr Minute um Minute das geatmete Gasvolum feststellt. Im Zimmer muß hiebei vollkommene Ruhe herrschen und jedes Geräusch sorgfältig vermieden werden.[2]

Die Zählung der Atemzüge pro Minute durch den Experimentator (Stricheln), die Feststellung der Gleichartigkeit des pro Minute geatmeten Volums, und endlich die Berechnung des Erhaltungsumsatzes der Versuchsperson geben ausgezeichnete Kontrollen dafür, daß die Atemmechanik keine veränderte war und daß während des Versuches wirklich vollkommene Körperruhe bestand. Das absolute Maß, das wir an der Größe des Erhaltungsumsatzes haben,[3] gibt auch die Möglichkeit, zu bestimmen, ob die Atemarbeit künstlich erhöht wurde. Die dauernde Kontrolle der Atmung, die im Respirationsversuche während etwa einer halben Stunde ununterbrochen erfolgt, gibt die Gewähr dafür, daß nicht etwa eine willkürliche, gekünstelte Atemform von der Versuchsperson gewählt wurde, da diese niemals durch so lange Zeit gleichmäßig beibehalten werden könnte. Diese Annahme ist um so mehr berechtigt, als ja hiebei der Versuchsperson (im Gegensatz zu der zum Beispiel von Fuchs geübten, nur je eine Minute dauernden Zählung) jede Schätzung für die Zeit fehlt.

Es wäre nun noch auf den Einwand hinzuweisen, daß die Atmung durch die Gasuhr und durch die Ventile eine modifizierte sei. Wir können dem erstens einmal entgegenhalten, daß die Frequenzänderungen im Hochgebirge bei Anwendung derselben Methodik beobachtet wurden, weshalb es sich um Experimente handelt, die unter absolut vergleichbaren Versuchsbedingungen ausgeführt wurden; zweitens glauben wir aber mit vollem Recht annehmen zu dürfen, daß bei richtiger Ausführung der Versuche und insbesondere dann, wenn die Ventile gut gebaut sind und sich ruhig, sowie ohne Widerstand bewegen, bei dem Geübten keine Modifikation der Atmung herbeigeführt wird.[4] Hiefür spricht nicht nur die Tatsache, daß das

---

[1] Der gewiß sehr geeignete Zwaardemaker'sche Aerodromograph wurde bisher im Hochgebirge nicht verwendet.

[2] Wir ließen nicht einmal die Flüssigkeit aus dem Auslaufheber frei abfließen, um das Geräusch der fallenden Tropfen zu vermeiden und der Versuchsperson etwa dadurch eine Möglichkeit zur Modifikation der Atmung nach der Ausströmgeschwindigkeit zu geben.

[3] Siehe Abschnitt VIII, p. 123 und 124.

[4] Die Angabe, daß beim Atmen durch Ventile und Gasuhr bei jeder Exspiration eine Blähung der Wangengegend erfolgt und daß dies ein Beweis für die Größe der Widerstände der Versuchsanordnung sei, können wir nicht bestätigen. Eine solche Blähung findet sich wohl stets bei forcierter Atmung im Arbeitsversuch, wir beobachteten sie dagegen im Ruheversuch nur ausnahmsweise. Ist

Atmen durch die Versuchsanordnung ohne jede Empfindung eines Widerstandes vor sich geht, sondern auch besonders der Umstand, daß Kontrollzählungen der Atemfrequenz in Beobachtungen, während derer nicht durch die Apparate geatmet wurde, dieselben Werte, die man bei der nämlichen Versuchsperson im Respirationsversuch erhält, liefern. Endlich sei noch erwähnt, daß unsere Versuchspersonen in der Ebene wie im Hochgebirge nicht selten während der Versuche einschliefen, wobei wir im Hochgebirge, geradeso wie sonst an einschlafenden Menschen, auf dem Monte Rosa die typische Ausbildung des periodischen Atmens (Cheyne Stokes'schen Atmens) beobachteten.

Man ist daher wohl berechtigt die Untersuchung der Atmungsfrequenz während des Respirationsversuches als ebenso verläßlich anzusehen, wie deren Bestimmung in der üblichen Form der Zählung (durch eine zweite Person), ja die Kontrolle über die Ruhe des Beobachteten wird im Respirationsversuch sogar eine ungleich schärfere und objektivere sein, weshalb wir letzterer Methodik bis zu einem gewissen Grade sogar den Vorzug vor allen anderen geben möchten.

So beruhigt wir also über die Bedeutung der im »Ruheversuch« ermittelten Werte für die Atmungsfrequenz sein können, so sicher ist es, daß die im Respirationsversuch während des Marsches bestimmten Atmungsfrequenzen, besonders wenn forciert marschiert wurde, durch die Versuchsanordnung beeinflußt werden. Beim Marschieren werden wir der Zählung durch die Versuchsperson selbst unbedingt den Vorzug geben müssen und die im Respirationsversuch bestimmten Frequenzen nur als Vergleichswerte auffassen dürfen. Eine Fälschung bei subjektiver Zählung ist nicht zu erwarten, denn die Reize auf das Atemzentrum sind bei einigermaßen intensiverer Arbeit so mächtige, die Arbeit selbst und die Wirkungen der Umwelt stehen so sehr im Vordergrund, daß die Aufmerksamkeit von der Atmung in solchem Maße abgelenkt ist, daß eine länger dauernde, willkürliche Veränderung des Atemmechanismus nahezu ausgeschlossen ist, wenn eine solche nicht in zielbewußter Absicht herbeigeführt wird, was wohl der mit dem Zweck des Versuches Vertraute niemals tun dürfte. Wenn man also annehmen darf, daß auch im Respirationsversuch während des Marsches durch den Willen der Versuchsperson, wenn diese das Marschieren mit der Gasuhr gewöhnt ist, wohl sicher keine Veränderung der Atemmechanik herbeigeführt wird, so setzen doch die Ventile und besonders die Gasuhr selbst so beträchtliche Hindernisse, daß die Frequenz wie die Tiefe der Atemzüge hiedurch unzweifelhaft gegenüber der Norm verändert werden.

B. Atemfrequenz in Körperruhe.

Einfluß der Jahreszeit auf die Atemfrequenz.

Entscheidend für die Frage, ob im Höhenklima eine Veränderung der Atemfrequenz zustande kommt, können nur solche Versuche sein, die unter genau analogen Bedingungen im Tale und im Gebirge ausgeführt worden sind.

Es wurde bereits im Abschnitte über den Erhaltungsumsatz ausgeführt, daß jene Komponenten, die bei Hochgebirgsversuchen in allererster Linie in Betracht gezogen werden müssen, das Absinken des

---

die Weite des Mundstückes oder der Verbindungen zu gering bemessen und der Widerstand der Ventile ein zu großer oder ist die Temperatur eine sehr niedere, so daß das Räderwerk der Gasuhr sich anfangs schwerer bewegt (wohl wegen des Schmiermittels), so tritt allerdings ein eben merkbares Blähen der Wangenpartien während der Exspiration ein. Es kann übrigens bestritten werden, daß dieses zu einer abnormen Modifikation der Atmung führt. Man kann sehr häufig und besonders bei älteren Leuten sehen, daß diese im Schlafe, wenn sie mit leicht geöffneten Mund durch den Mund und nicht durch die Nase atmen, ebenso die Wangen blähen, wie dies bei der Atmung durch die Gasuhr geschieht, wenn merkliche Widerstände vorhanden sind. Es ist begreiflich, daß bei Versuchen, in denen statt des Mundstückes die Nasenoliven verwendet werden, die Blähung der Wangenschleimhaut wegfällt, dies ist aber keineswegs ein Beweis dafür, daß in diesen Beobachtungen die Widerstände etwa geringere waren, denn infolge des Abschlusses des Rachenraumes gegen die Mundhöhle pflanzt sich die Druckänderung nicht in letztere fort, ja es kommt selbst dann zu keiner Blähung der Wangenschleimhaut, wenn man zur Prüfung, ob die aufgesetzte Nasenklemme schließt, mit Gewalt Luft aus der verschlossenen Nasenöffnung exspiratorisch auspressen will. Es sei übrigens bemerkt, daß wir eben mit Versuchen beschäftigt sind, die klarstellen sollen, welchen Einfluß geringe Widerstände auf die Atemmechanik ausüben.

Luftdruckes und die niedere Umgebungstemperatur sind. Während das erstere als das Charakteristischeste des Höhenklimas bezeichnet werden kann, wirken Temperaturen, wie sie in den Eisregionen des Hochgebirges vorkommen, auf den Menschen auch in der Ebene ein und es ist also vorerst zu entscheiden, ob wir Unterschiede in der Atemfrequenz im Sommer und im Winter in der Ebene beobachten können. Bekanntermaßen lauten die geläufigen Angaben dahin, daß beim Steigen der Körpertemperatur wie bei beträchtlicher Erhöhung der Umgebungstemperatur eine Vermehrung der Atemfrequenz eintritt.[1] Die nachstehenden Tabellen, die die Mittelwerte und die Extreme der Zahl der pro Minute bei uns beobachteten Atemzüge enthalten, geben auch einen Überblick über die Wirkung, welche die Umgebungstemperatur auf die Atemfrequenz bei uns ausübte.

Bezüglich der Versuchsbedingungen sei auf den Abschnitt Erhaltungsumsatz verwiesen.[2] Die Grunddaten sind in den diesem Abschnitt beigegebenen Generaltabellen enthalten.[3] Es sei nochmals hervorgehoben, daß nur Reichel und Durig streng genommen der Forderung, sich im Winter derselben Einwirkung der Temperatur auszusetzen, wie sie es im Sommer auf dem Monte Rosa taten, gerecht geworden

I*a*.

Durig. — Reichel.

Ort	Jahreszeit	Zahl der Atemzüge			Ort	Jahreszeit	Zahl der Atemzüge		
		Min.	Max.	Mittel			Min.	Max.	Mittel
Wien 150 *m*	Winter	10·0	11·3	10·4	Wien 150 *m*	Winter	12·3	14·8	13·6
»	Frühling	10·1	11·0	10·5	»	Frühling	10·8	13·3	12·3
»	Sommer	12·6	13·5	13·1	»	Sommer	13·3	17·2	15·7
Semmering 1000 *m*	Winter	10·0	12·6	11·5	Semmering 1000 *m*	Winter	12·1	16·2	13·5

I*b*.

Kolmer. — Rainer.

Ort	Jahreszeit	Zahl der Atemzüge			Ort	Jahreszeit	Zahl der Atemzüge		
		Min.	Max.	Mittel			Min.	Max.	Mittel
Wien 150 *m*	Frühling	12·7	17·0	13·9	Wien 150 *m*	Frühling	15·8	16·7	16·1
»	Sommer	11·0	13·0	12·0	»	Sommer	16·0	19·6	17·2
Alagna 1000 *m*	Sommer	19·0	25·0	21·2	Alagna 1190 *m*	Sommer	17·0	18·7	17·7

[1] Siehe auch die Bemerkung Zwaardemaker's (Arch. f. [Anat. u.] Physiologie, 1904, Suppl. p. 264), »wenn zum Beispiel warme Luft geatmet wird, kommt ein größeres Atemvolum zur Wahrnehmung.«

[2] Siehe p. 116 u. f.

[3] Auch hinsichtlich aller später in den Hilfstabellen nur in Mittelwerten angeführten Ergebnisse sei auf die Generaltabellen am Schlusse dieses Abschnittes p. 98 [446] u. f. verwiesen.

sind. Zum Vergleich sind nur die Versuche in Wien im Sommer, Winter und Frühling heranzuziehen. Es ergibt sich, daß bei Durig sowohl nach dem Minimum wie nach dem Maximum der Atemfrequenz wie auch nach dem Gesamtmittel die Zahl der Atemzüge im Sommer eine größere war als im Winter, die Werte vom Frühling (März) sind fast identisch mit den Winterwerten, was vielleicht damit zusammenhängen mag, daß die Morgentemperaturen bei sämtlichen Märzversuchen noch ganz nahe am Gefrierpunkt lagen, so daß es im ungeheizten Zimmer ungefähr gleich kalt wie bei den Winterversuchen gewesen sein dürfte.

Auch bei Reichel liegen Minimum, Maximum und Mittel der Respirationsfrequenzen im Winter niedriger als im Sommer, noch niedriger fielen die Werte überraschender Weise im Märzversuche aus, wofür eine Erklärung nicht zu geben ist.

Bei Rainer ist in allen Werten die geringere Respirationsfrequenz im Frühjahr als im Sommer ausgesprochen. Bei Kolmer wurden im Winterversuch leider die Respirationen nicht gezählt. Im Frühjahr ist jedoch die Zahl seiner Atemzüge pro Minute größer als im Sommer, was mit dem Verhalten der drei anderen Beobachteten in Widerspruch steht. Hieran ändert sich auch nichts, wenn man den aus der Reihe fallenden, extremen Wert von 17 Atemzügen pro Minute aus der Berechnung ausschaltet. Es ist immerhin möglich, daß Kolmer bei den ersten Versuchen — diese waren ja die Sommerversuche — modifiziert geatmet habe, gegen eine solche Annahme spricht aber die Gleichmäßigkeit der Zahl der Atemzüge während der einzelnen Minuten eines jeden Versuches[1] sowie die Ähnlichkeit der Minutenvolumina und der Werte für die chemische Zusammensetzung der Exspirationsluft.

Es ist demnach bei dreien von uns unter der Einwirkung der wärmeren Jahreszeit eine Erhöhung der Atemfrequenz gegenüber jener im Winter erfolgt, während bei der vierten Versuchsperson ein derartiger Einfluß nicht zu erkennen war.

Wissen wir nun aus unseren Versuchen über den Erhaltungsumsatz bei verschiedener Umgebungstemperatur[2] und den vorliegenden Beobachtungen über die Atemfrequenz, daß im Winter keine Erhöhung des Gaswechsels eintritt, die eine Steigerung der Atemfrequenz hervorrufen könnte, und daß tatsächlich eher eine Verminderung der Zahl der Atemzüge als eine Vermehrung in der kalten Jahreszeit zu erwarten ist, so ergibt sich daraus, daß die Erhöhung der Atemfrequenz im Hochgebirge nicht auf die direkte oder indirekte Wirkung der niederen Lufttemperatur zurückzuführen ist.

Einfluß des Höhenklimas auf die Atmungsfrequenz.

Doch wie steht es um die fragliche Steigerung der Atemfrequenz im Höhenklima, die, wie oben erwähnt, von Mosso bestritten worden ist? Hierüber mögen nachfolgende Tabellen Aufschluß geben:

II*a*. Versuch von Marcet auf Teneriffa.

Ort	Meereshöhe *m*	Atemfrequenz		Anmerkung
		Marcet	Cupelin	
Puerto de Orotava	0	7·7	7·9	Proc. of. the Royal Soc. T. 28, p. 498, (1879)
Guajara	2161	11·4	10·6	
Alta Vista	3261	11·4		
Am Fuße des Kegels	3580	10·0	10·6	

[1] Dies ist natürlich nicht aus den Tabellen, sondern nur aus den Originalprotokollen ersichtlich.

[2] Siehe auch Ignatius, Lund u. Wärri, Skand. Arch., XX, p. 226.

II*b*. Versuch von Veraguth.

Ort	Meereshöhe *m*	Atemfrequenz	Anmerkung
Zürich	470	9·9	Thèse Paris 1887.
St. Moritz	1769	12·0	Zit. nach Jaquet Festrede

II*c*. Versuche Mosso's.

Ort	Meereshöhe *m*	Atemfrequenz[1]							Anmerkung
		U. Mosso	Bizzozero	Camozzi	Sarteur	Solferino	Chamois	Oberhoffer	
Turin	276	—	—	—	—	—	18·5	20	»Der Mensch auf den Hochalpen« (Versuche 1894)
Gressoney	1627	12	11	8	10	10	—	—	
Monte Rosa	4560	13	15	9	12	14	15·5	19	

[1] Die hier eingetragenen Zahlen stammen aus den Generaltabellen im Buche »Der Mensch auf den Hochalpen«.

II*d*. Versuche von Zuntz und Schumburg.

Ort	Meereshöhe *m*	Atemfrequenz						Anmerkung
		Zuntz			Schumburg			
		Minimum	Maximum	Mittel	Minimum	Maximum	Mittel	
Berlin	54	5·8	9·5	**7·33**	8·3	9·3	**8·80**	Pflüger's Arch. Bd. 63 (1896).
Zermatt	625	5·3	5·7	**5·46**	8·8	10·1	**9·14**	
Bétempshütte	2990	5·3	6·2	**5·87**	8·6	10·0	**9·40**	

II*e*. Versuch von Gebrüdern Loewy und L. Zuntz.[1]

Ort	Meereshöhe *m*	A. Loewy			J. Loewy			L. Zuntz			Anmerkung
		Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel	
Berlin	54	13·0	14·0	**13·5**	11·5	17	**14**	5·5	10·0	**7·1**	Pflüger's Arch. Bd. 66 (1897).
Col d'Olen	2856	9·0	13	**11**	8·5	9·5	**9**	6·4	6·5	**6·5**	
Gnifettihütte	3647	12·0	15·5	**14·3**	11·0	15·0	**12·8**	9·0	14·5	**11·8**	
Margheritahütte	4560	—	—	—	—	—	—	10·5	11·0	**11·0**	

[1] In der im Buche »Höhenklima«, p. 310, angeführten Tabelle entsprechen die Werte wohl den Daten der Tabelle XXI, p. 519, in Pflüger's Ach., Bd. 66, nicht aber den Originaltabellen p. 506 u. ff. der Abhandlung von Loewy; nach der Einfügung der in diesen enthaltenen Werte ist die in Absatz 4 dieses Buches angenommene Gesetzmäßigkeit nicht mehr erkennbar. Hierin erklären sich auch die Abweichungen in der Darstellung in der vorliegenden Abhandlung. Einer freundlichen brieflichen Mitteilung nach der Drucklegung dieser Abhandlung verdanke ich die Nachricht, daß die im Buche »Höhenklima« enthaltenen einschlägigen Werte nicht publizierten Versuchen Loewys entnommen sind.

IIf. Atemfrequenzen auf dem Monte Rosa (4560 *m*), beobachtet von Gurgo[1] (1896).

	Ad. B.	Al. B.	L. C.	S. S.	C. T.	G. V.	A. H.	G. N.	P. G.	B. B.	M. C.	G. D.	G. R.	G. T.	G. N.
Normale Frequenz	20	14	23	23	17	16	18	19	14	20	14	16	17	16	14
1. Tag[2]	24	20	20	20	20	22	24	24	18	34	19	20	18	22	20
2. Tag	24	22	24	18	22	22	22	22	16	36	20	24	24	20	20
3. Tag	16	16	16	16	18	18	18	18	14	30	17	18	20	16	16

[1] Siehe »Der Mensch auf den Hochalpen«, p. 86.

[2] Des Aufenthaltes auf dem Monte Rosa.

IIg. Versuch von Jaquet und Staehelin.

Ort	Meereshöhe *m*	Atemfrequenz			Anmerkung
		Min.	Max.	Mittel	
Basel, 16. bis 21. August .	279	16·4	19·7	**17·1**	Arch. f. exp. Pathologie, Bd. 46 (1901).
Chasseral, 25. August bis 3. September	1600	13·9	17·8	**15·8**	
Basel, 6. bis 11. September	279	14·3	16·1	**15·1**	
22. bis 25. »	279	14·0	16·0	**15·0**	
2. bis 29. Dezember	279	15·1	18·2	**16·7**	

IIh. Versuche von Zuntz und Mitarbeitern.[1]

Ort	Meereshöhe *m*	Waldenburg			Kolmer			Caspari			Müller			Loewy			Zuntz		
		Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel
Berlin	54	—	—	**10**	15	19·5	**17·2**	13	16	**14**	12	14	**13**	—	—	**11·5**	5·3	7·7	—
Brienz	500	6·5	9	**7·5**	12·5	21	**14·7**	10·5	15·5	**13·3**	9	12	**10**	10	13·5	**11·6**	6	9	**7·3**
Rothorn	2110	6	9	**7·6**	12	18	**16**	14	18	**15·5**	10	16	**13**	11·5	17	**13·6**	6	8	**7·0**
Col d'Olen	2856	6	11	**8·3**	—	—	—	—	—	—	8	10·5	**9·7**	—	—	—	—	—	—
Margheritahütte	4560	—	—	—	14	22	**18**	8	14·5	**12·1**	8	8·5	**8**	14	19·5	**15·7**	—	—	**6·0**

[1] »Höhenklima und Bergwanderungen« (1901).

II*i*. Zuntz. Expedition 1903.[1]

Ort	Meereshöhe *m*	Versuchstag	Versuchsdauer	Atemfrequenz Mittel aus der ganzen Versuchsdauer	Einzelne Zählungen der Atemfrequenz durch den Experimentator
Berlin[2]	54			6·5	
Col d'Olen	2865	15. August[3]	6^h 38^m— 7^h 10^m	7·5, 6·8	8, 7, 8, 7, 6, 7, 6, 7
		16. » [4]	2 27 — 2 56	6·8	7, 7, 7, 7, 6, 7, 7, 7
		19. »	9 47 —10 48	7·6 6·8	
Capanna Margherita	4560	21. August[5]	6 41 — 7 14	7·3, 8·5	
		22. »	7 19 — 7 54	7·4, 8·4	
		23. »	7 21 — 7 49	8·6	
		25. »	7 29 — 7 59	7·0, 6·9	7, 7, 7, 7, 7, 6, 6, 7
		26. »	7 52 — 7 24	7·4, 7·7	
		30. »	9 04 — 9 25	7·5, 7·5	
		3. September	6 52 — 6 59	5·9	
		4. »	7 31 — 7 42	6·8	

[1] Die in den vorstehenden Tabellen enthaltenen Atemfrequenzen sind aus unserer Abhandlung in Archiv für (Anat. u.) Phys. (1904), Suppl. p. 417, nicht zu entnehmen und werden an dieser Stelle auf Grund der Protokolle nachgetragen.

[2] Mittel aus den Berliner Versuchen.

[3] Am Tage nach der Ankunft in Col d'Olen.

[4] Auf der Gemshornspitze im Freien ausgeführter Versuch.

[5] 4 Stunden nach der Ankunft in der Hütte.

II*k*. Durig.

Ort	Meereshöhe *m*	Versuchstag	Versuchsdauer	Atemfrequenz Mittel aus der ganzen Versuchsdauer	Einzelne Zählungen der Atemfrequenz durch den Experimentator
Wien[1]	150			10·4	
Col d'Olen	2865	17. August	6^h 57^m— 7^h 27^m	11, 12	
		19. »	9 04 — 9 38	12, 13	12, 13, 12, 12
Capanna Margherita	4560	21. August[2]	7 23 — 7 46	14, 13	
		22. »	8 24 — 8 50	12·7, 13·0	
		28. »	8 06 — 8 54	14·8, 12·2	
		30. »	9 42 —10 12	12·0, 12·3	
		31. »			
		3. September	7 13 — 7 24	12·0, 11·7	
		4. »	8 01 — 8 13	11·5	

[1] Mittel aus den Winterversuchen. Siehe folgende Tabelle II *m*.

[2] 4 Stunden nach Ankunft in der Hütte.

II*l*. Versuch von Bayeux.

I. Reihe		II. Reihe		Anmerkung
Meereshöhe *m*	Atemfrequenz	Meereshöhe *m*	Atemfrequenz	
0	15	0	14	Compt. rend soc. biol., t. 56 (1904)
1050	18	1050	16	
1924	19	2525	21	
2525	23	3020	38	
3020	28			
4365	40			
4810	34			

II*m*. Expedition 1906.

	Meereshöhe *m*	Durig			Kolmer			Rainer			Reichel		
		Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel
Wien, Winter	150	10·0	11·3	10·4	12·7	17·0	13·9	15·8	16·7	16·1	12·3	14·8	13·6
» » (nach Semmering)		8·8	9·3	9·0							12·4	13·2	12·8
Semmering	1000	10·0	12·6	11·5							12·1	16·2	13·5
Alagna I	1190	8·0	8·2	8·1	19·0	25·0	21·2	17·0	18·7	17·7	15·0	18·5	16·4
II		9·0	9·7	9·4									
Monte Rosa I	4560	14·0	17·2	15·6	17·9	25·0	20·5	17·0	21·2	19·7	18·0	21·1	19·1
II		13·2	14·5	13·8	15·9	22·0	19·3	16·8	17·5	17·0	16·0	18·4	17·2

II*n*. Versuch von Fuchs.

	In einer Beobachtungsreihe		Extreme der Periode		Gesamtmittel	Anmerkung
	Min.	Max.	Min.	Max.		
Erlangen 8. August	10·0	10·5				Sitzber. der Physikal. medic. Sozietät, Erlangen 1908.
	8·5	9·5	9·0	14·1	11·95	
Col d'Olen 16. August	12·0	14 3				
21. »	10·3	12·3	9·2	14·0	11·03	
Margheritahütte 7. Sept.	12·6	15·2				
8. »	12·8	17·3	12·8	14·7	13·66	
13. »	11·5	16·0				
Col d'Olen 15.—21. »	—	—			9·92	
Erlangen 10. Oktober	9·7	11·7				
16. »	8·6	9·5	9·1	10·2	9·65	

Marcet beobachtete an sich und seinem Führer Cupelin eine ausgesprochene Zunahme der Atemfrequenz beim Aufenthalt in größerer Höhe; da wir aber weder seine Versuche auf dem Pic von Teneriffa noch jene, die er in der Schweiz ausführte, in bezug auf den Umsatz im Höhenklima als beweiskräftig ansehen konnten,[1] so darf man vermuten, daß auch die Zählung der Atemfrequenz nicht mit jener Vorsicht ausgeführt wurde, die bei deren Bestimmung erforderlich ist. Ähnlich muß auch unser Urteil über die Beobachtungen von Veraguth lauten.[2]

Unter Berücksichtigung aller Kautelen zählte Mosso die Atemfrequenz. Die Personen lagen morgens noch nüchtern im Bette, wurden durch längere Zeit beobachtet und waren in Unkenntnis über die Zeit, während welcher die Atmung gezählt wurde. Fünf von sieben Untersuchten wiesen eine Zunahme der Atemfrequenz auf. Die beiden Soldaten, bei denen an Stelle der Zunahme eine Abnahme der Frequenz beobachtet wurde, verhielten sich aber hinsichtlich der Atemfrequenz anscheinend überhaupt anders als die übrigen. Sie zeigten in Turin ganz auffallend viele Respirationen pro Minute (18·5 und 20) und es wäre erst zu entscheiden, welche Bedingungen bei ihnen in Turin stets eine so hohe Atemfrequenz herbeiführten, wie wir sie sonst bei Personen, die sich vollkommener Körperruhe befleißigen, in der Ebene kaum finden. Schaltet man also diese beiden Versuchspersonen, insolange deren abweichendes Verhalten in der Ebene nicht erklärt werden kann, aus, so sprechen die Beobachtungen Mosso's einheitlich für eine, wenn auch geringe Zunahme der Atemfrequenz in großer Höhe.

In den Versuchen von Zuntz und Schumburg findet sich im Gegensatz hiezu im Höhenklima eine Abnahme der Atemfrequenz bei Zuntz, der überhaupt (stets) auffallend niedere Atemfrequenzen aufweist,[3] während die Atemfrequenz von Schumburg unverändert blieb.

Nicht eindeutig sind auch die Resultate, welche die Gebrüder Loewy gemeinsam mit L. Zuntz gewannen. In 2856 *m* Höhe scheint eher eine Abnahme der Frequenz ausgesprochen, die bei L. Loewy auch in der Gnifettihütte noch beobachtet wurde, bei A. Loewy und L. Zuntz fand sich dagegen an diesem Orte eine Zunahme der Zahl der Atemzüge pro Minute.

Der Vollständigkeit halber wurden auch die Zählungen der Respirationsfrequenzen, die Gurgo im Auftrage Mosso's ausführte, in obiger Tabelle wiedergegeben. So sehr auch die Zahlen im allgemeinen einheitlich für eine Zunahme der Atemfrequenz im Hochgebirge sprechen, so wenig kann man diesen eine Beweiskraft zuerkennen, da die Versuchsbedingungen sicher keine einwandfreien waren.[4]

Die Versuche von Jaquet in Basel und auf dem Chasseral lassen keinen Einfluß des Höhenklimas auf die Atemfrequenz erkennen und zum selben Resultate führten die Beobachtungen von Zuntz und seinen Mitarbeitern im Jahre 1901, von denen nur bei einem einzigen (Loewy) im Höhenklima eine Zunahme der Atemfrequenz zu beobachten war.

Haben wir schon an früherer Stelle ernstliche Bedenken gegen die Beobachtungen von Bayeux erhoben, so gelten diese auch für die Zählungen der Atemfrequenzen durch diesen Autor. Wir können daher nicht umhin, die von ihm gefundene gesetzmäßige Abhängigkeit der Atemfrequenz von der Höhe des Luftdruckes als unerwiesen zu erachten.

Anläßlich des lange dauernden Aufenthaltes auf dem Monte Rosa im Jahre 1903 nahmen Zuntz und Durig ebenfalls Zählungen der Atemfrequenz vor, leider wurden die gefundenen Werte damals nicht in die Tabellen eingetragen. Es schien aber nötig, nunmehr auf die Atemfrequenzen in diesen Versuchen zurückzugreifen, weshalb auf Grund der noch vorliegenden Versuchsprotokolle die betreffenden Zahlen in Tabelle II *i* und *k* eingetragen wurden. Die damals ausgeführten Beobachtungen zerfielen meist in zwei

---

[1] Es sei erwähnt, daß Marcet im Sitzen gegen einen Kautschuksack atmete.

[2] Siehe p. 139.

[3] Ob so geringe Atemfrequenzen unter physiologischen Verhältnissen bei unbeeinflußten Personen in der Tat vorkommen, ist heute kaum sicher entschieden. Auffallend ist es jedenfalls, daß auch Speck in seinen Versuchen ähnlich niedere Frequenzen zeigte. Siehe auch Zwaardemaker, Arch. f. (Anat. u.) Physiologie, 1904, Suppl., p. 263.

[4] Siehe Kapitel III, p. 42 dieses Bandes.

unmittelbar aneinander anschließende Teile; der Mittelwert für die Respirationsfrequenz wurde in jedem derselben gesondert in die Tabelle eingetragen, außerdem bei einigen Versuchen die pro Minute durch den Experimentator zur Kontrolle bestimmte Atemfrequenz angeführt. Die Mittel in der vorletzten Kolonne beziehen sich natürlich auf eine viel größere Zahl von Minuten, als aus der vierten Kolonne ersichtlich ist. Die Versuche betreffen vollkommen einwandfrei durchgeführte Ruheversuche.

Tabelle II *i* ergibt, daß eine in Betracht kommende Erhöhung der Atemfrequenz bei Zuntz auf dem Col d'Olen sicher nicht bestand, dagegen ist eine Erhöhung derselben in der Capanna Margherita kaum zu bezweifeln. Diese ist jedenfalls nur in dem Beginne des Aufenthalts nachzuweisen gewesen, während am Ende des Aufenthaltes Werte beobachtet wurden, die mit dem in Berlin gefundenen Mittel übereinstimmen. Vergleicht man aber die Grenzen, innerhalb derer bei Zuntz (siehe Tabelle II*d* die Atemfrequenz in Berlin schwankt (zwischen 5·8 und 9·5), so liegen sämtliche Ausschläge auf dem Gipfel innerhalb des Bereiches solcher Unterschiede, die auch in Berlin beobachtet wurden, weshalb keinerlei Berechtigung besteht, bei ihm eine Zunahme der Atemfrequenz selbst in 4560 *m* Höhe als erwiesen anzunehmen. Es ist dies ein Resultat, das jenes von der Expedition 1901 (II *h*) vollkommen bestätigt. Wollte man doch eine geringfügige Zunahme der Frequenz bei ihm annehmen, so hat sich diese jedenfalls während des Aufenthaltes auf dem Gipfel verwischt. Ohne Zweifel steht sie aber in gar keinem Größenverhältnisse zu dem gewaltigen Unterschiede, der im Luftdruck zwischen Berlin und dem Monte Rosagipfel besteht. Interessant ist jedenfalls auch die Tatsache, daß nicht einmal vier Stunden nach der Ankunft auf dem Gipfel eine nennenswerte Veränderung der Atemfrequenz bei ihm eintrat, obwohl Zuntz während des Aufstieges ausgesprochene Zeichen von Erschöpfung und Sauerstoffmangel gezeigt hatte.

Bei Durig ist gegenüber den Winterversuchen in Wien auf Col d'Olen wie auf dem Monte Rosa eine Erhöhung der Frequenz in recht bescheidenem Ausmaße erkennbar, die, wenn wir mit dem Col d'Olen-Versuch jedoch den Sommerversuch in Wien vergleichen[1] (der diesem analoger als der Winterversuch ist) auf Col d'Olen fehlt. Auch bei Durig ist die Erhöhung der Atemfrequenz selbst am Tage der Ankunft auf dem Gipfel eine recht geringe. Im Verlaufe des Aufenthaltes verschwindet die Frequenzerhöhung wieder nahezu ganz. Es ist also bei ihm eine Anpassung an die Verhältnisse bemerkbar, doch ist von einer so raschen und in so großem Umfange stattfindenden Anpassung, wie sie Fuchs[2] abgeleitet hat, keine Rede.

Bei unseren neuen Versuchen stellen wir die während der kalten Jahreszeit in der Ebene gewonnenen Zahlen für die Atemfrequenz jenen vom Monte Rosa gegenüber. Durig und Reichel lebten sowohl im Winterversuch wie auf dem Gipfel unter Einhaltung des vorgeschriebenen Kostprogrammes (im Stoffwechselversuch), während die Werte für die Atemfrequenz von Kolmer und Rainer in Wien im März gewonnen wurden, ohne daß die Genannten unter Tags dieselbe Kost wie auf dem Monte Rosa genossen hätten. Ein Aufstieg in die Höhe von 1000 *m* (Semmering) hat weder bei Durig noch bei Reichel eine ausgesprochene Erhöhung der Atemfrequenz zur Folge gehabt, denn die Zunahme um einen Atemzug pro Minute bei Durig ist wohl ebensogut auf Zufälligkeiten zurückzuführen; es war auch nicht nachzuweisen, daß am Beginne des Semmeringaufenthaltes die Atemfrequenz eine größere als später gewesen sei.

Auf dem Monte Rosa ist bei uns allen die Atemfrequenz gegenüber jener im Winter in Wien ganz ausgesprochen erhöht gewesen. In der Schlußperiode auf dem Gipfel zeigt sich diese Zunahme der Atemfrequenz vermindert, sie bestand aber immer noch fort und bei keinem von uns waren Atemfrequenzen erreicht worden, die so niedrig wie jene in der Ebene gewesen wären, obwohl wir vier Wochen auf dem Monte Rosagipfel geweilt hatten. Durig verhielt sich also ebenso wie Kolmer beim zweiten Aufenthalt auf dem Gipfel anders als in dem mehrere Jahre früher ausgeführten Versuche auf dem Monte Rosa.

---

[1] Siehe oben die Tabelle I*a*, p. 6 [354].

[2] Siehe unten.

Zwei Jahre nach uns verweilte R. Fuchs während einer Woche auf dem Monte Rosa und stellte Untersuchungen über die Atmung und den Puls an. In der Tabelle wurden ebenso wie bei den anderen untersuchten Personen die extremen Werte, soweit diese ermittelt werden konnten, eingetragen, wie die Mittelwerte, welche der Verfasser selbst angegeben hat. Um die Größe in den Schwankungen der Atemfrequenz am selben Orte beurteilen zu können, wurden auch aus den von Fuchs angeführten Kurven die Extreme jener Werte wiedergegeben, die in fortlaufender Versuchsreihe an einem Tage gewonnen wurden.

Fuchs äußert sich in Betreff seiner Versuche in folgender Weise, wobei zu bemerken ist, daß er morgens, liegend in Körperruhe, alternierend in jeder Minute Puls und Atmung zählte; die Zählungen dauerten $^1/_2$ bis 1 Stunde.

»Die Mittelzahlen für Erlangen I und Col d'Olen I sind zwar nicht wesentlich voneinander verschieden, dennoch wäre es unrichtig aus diesen Zahlen zu folgern, daß beim Übergang von Erlangen auf den Col d'Olen eine Verminderung der Atemfrequenz eingetreten sei. Die Kurve der täglichen Atemfrequenzen zeigt vielmehr, daß, nachdem die Atemzahl in Erlangen allmählich von 13·5 auf 9 am letzten Tage gesunken war, sie zu Beginn des Aufenthaltes auf Col d'Olen auf 14, das heißt um 55·5% gestiegen ist. Demnach findet eine sehr energische Steigerung der Atemfrequenz beim Übergang von der Ebene ins Hochgebirge statt. Aber die Akklimatisation findet sehr rasch und sehr vollständig statt.« »Nach dem Aufstieg auf die Capanna Margherita ist die Atemfrequenz von 9·6 am letzten Tag in Col d'Olen auf 13·8 am 2. Tage des Aufenthaltes auf der Capanna Margherita gestiegen. Diese Steigerung der Atemzahl um 43·75% ist keine Folge der Anstrengungen des Aufstieges, da dieser bereits am Morgen des 6. September stattgefunden hatte und durchaus nicht anstrengend gewesen war;[1] außerdem hält sich die Atemfrequenz auf der Capanna Margherita ständig auf dieser Höhe und zeigt kaum eine Tendenz, abzusinken. Die durch die Klimafaktoren geschaffenen Veränderungen der Atemfrequenz sind auf der Capanna Margherita zunächst dauernde. Ob bei längerem Aufenthalt doch noch eine Verringerung der Atemfrequenz eingetreten wäre, kann nicht entschieden werden.«

Im weiteren führt Fuchs aus, daß er periodische Schwankungen in der Frequenz der Atemzüge in aufeinanderfolgenden Minuten im Hochgebirge beobachtet habe, während er solche in Erlangen nicht oder nur in geringem Ausmaße finden konnte. »Die Atemzahlen wechselten von einer Zählung zur andern selten einmal um $^1/_2$ Atemzug. Zu Beginn des Aufenthaltes auf Col d'Olen konnte ein deutlicher, wenn auch schwacher Wechsel der Atemtiefe schon während einer Zählung innerhalb einer Minute beobachtet werden«. »Während des Aufenthaltes auf der Capanna Margherita nehmen die Frequenzperioden sehr erheblich zu, sie betragen zwei bis drei Atemzüge; dieser Zustand der Periodizität ändert sich nicht während des ganzen Aufenthaltes auf der Capanna. In Alagna und Erlangen sind diese Perioden kaum angedeutet, sie betragen höchstens $^1/_4$ bis $^1/_2$ Atemzug.«

Auch hier wollen wir trachten das Bewiesene von dem Möglichen oder Wahrscheinlichen zu trennen. Vorerst ist es wohl nötig, festzustellen, daß Resultate, die an einer Person, noch dazu bei subjektiver Beobachtung gewonnen wurden, nicht als allgemein gültige Gesetzmäßigkeit aufgefaßt werden dürfen, weshalb die ganz allgemein gehaltene Angabe von Fuchs, daß beim Übergang von der Ebene ins Hochgebirge eine sehr energische Steigerung der Atemfrequenz auftritt, wesentlich eingeschränkt werden muß. Wie die früher erwähnten Versuche dargetan haben, bestehen sicherlich individuelle Unterschiede, ja sogar ein und dieselbe Person muß sich unter sonst ganz identischen Versuchsbedingungen bei wiederholtem Aufenthalt im Hochgebirge in derselben Station nicht gleichartig verhalten. Die prozentische Zunahme der Atemfrequenz als Kennzeichen für die Mächtigkeit der Höhenwirkung ins Feld zu führen wie dies Fuchs tut, ist kaum zweckmäßig. Wir haben eine Berechnung der Änderung der Zahl der Atemzüge, ausgedrückt in Prozenten, absichtlich unterlassen, da man selbst bei Atemfrequenzen von 6 Atemzügen pro Minute in der Ebene Schwankungen um 2 Atemzüge nach oben unter normalen Ver-

[1] Fuchs ging nur von der Gnifettihütte zum Gipfel.

hältnissen bei jener Versuchsperson (Zuntz) findet, die heute wohl am meisten Erfahrung in Respirationsversuchen hat, so daß selbst $30^0/_0$ betragende Abweichungen — im allgemeinen ein enormer Ausschlag — bei Frequenzzählungen nach der Lage der Sache nicht allzu schwer ins Gewicht fallen. Bei der Methodik der Zählungen von Fuchs deutet aber alles darauf hin, daß wir es nicht mit wirklichen Ruheversuchen zu tun haben. Fuchs betont, daß er sich die Werte der Atemfrequenz von der einen auf die übernächste Minute nicht habe merken können (obwohl die Zahl der Atemzüge nach seiner Angabe selten um mehr als einen halben Atemzug differierte), was wohl etwas überraschend ist, wenn man sich vorstellt, daß er im Verlaufe einer Stunde 30 mal eine ganz analoge Zahl feststellte. Aus dieser Anführung geht aber hervor, daß Fuchs entweder die Atemfrequenz am Schlusse jeder Minute (dieser fällt zusammen mit dem Momente des Beginnes der folgenden, in der aber auch schon die Pulsfrequenz genau gezählt werden sollte!) diktiert hat oder selbst notierte, beides ist aber nach unseren wie Johansons Erfahrungen mit dem, was man wirklich einen Ruheversuch nennt und mit einer exakten Zählung der Atmungs- oder Pulsfrequenz unvereinbar. Es ist auch aus der Darstellung nicht zu erkennen, wieso Fuchs imstande war, die Bruchteile von Atemzügen während einer Minute zu beobachten. Nach unserer Erfahrung gelingt dies wohl einer zweiten Versuchsperson mit Hilfe der Stoppuhr oder der graphischen Registrierung; wir würden aber nicht im Stande sein, mit einiger Sicherheit bei Selbstbeobachtung im fortlaufenden Sekundenrhythmus ohne Störung des Versuches (und bei gleichzeitiger Beobachtung der Uhr während einer Minute) alternierend solche Zählungen der Atmungs- und Pulsfrequenz mit einer auf Dezimalen gehenden Genauigkeit auszuführen. Dann, wenn wir Zählungen der Atmungsfrequenz einer Versuchsperson während einer Minute ausführten, begnügten wir uns stets damit, alle während einer Minute begonnenen Atemzüge zu notieren, ohne auf die Bruchteile einer Minute oder eines Atemzuges Rücksicht zu nehmen.

Was nun die Frequenzsteigerung betrifft, die Fuchs auf Col d'Olen beobachtete, ist zu bemerken, daß diese trotz der Anschauung von Fuchs bei Betrachtung der Kurve über die Atemfrequenz keineswegs eindeutig hervorgeht.

Betrachten wir die Atemfrequenzen bei ihm in Erlangen vom 30. Juli bis 10. August und vergleichen diese mit jenen von Col d'Olen vom 14. bis 26. August, also während einer fast analogen Zeit, so ist das Verhalten, das in beiden Kurven ausgesprochen ist, fast genau dasselbe. Es ist dabei wegen der Erklärung, die Fuchs gibt (Verschwinden von Alkohol- und Tabakwirkung, Übung im Ruhigliegen), hervorzuheben, daß dem 30. Juli in Erlangen schon eine ganze Versuchswoche voranging, während derer sich die »Entgiftung« von Alkohol und die Übung besonders bemerkbar gemacht haben müßte. Wenn wir daher ebensogut annehmen könnten, daß im Gefolge der Reise, des Aufstieges, der ungewohnten Situation, vielleicht der Unruhe im Hause, die auf Col d'Olen erst zu gewöhnen war, die Frequenz der Atemzüge anfänglich höher gewesen ist, so soll damit nur gesagt sein, daß die Versuche von Fuchs nicht als beweisend dafür angesehen werden können, daß sich bei ihm eine »energische Reizwirkung« des Höhenklimas geltend gemacht hat, die auf die Atemfrequenz bereits in 2856 *m* einen großen Einfluß ausgeübt hat, der bei anderen Personen in solchem Umfange gewiß nicht nachzuweisen war. Ist die Frequenzsteigerung bei Fuchs auf Col d'Olen wirklich durch das Höhenklima bedingt gewesen, so ist eben — wenn wir von deren Ausmaß absehen — eine Person mehr beobachtet worden, bei der die Zahl der Atemzüge sich schon in so geringer Höhe vermehrt, während dies bei anderen Personen nicht der Fall ist.

Auch die Entscheidung über die Frage, ob das, was Fuchs auf Col d'Olen als Akklimatisation ansieht, wirklich in diesem Sinne gedeutet werden darf, muß wohl derzeit noch unerledigt bleiben. Auf dem Monte Rosa fand Fuchs eine solche Anpassung nicht, dagegen sprechen unsere Versuche bei sehr langem Aufenthalt in der Capanna Margherita dafür, daß eine solche, vielleicht im Sinne einer Anpassung an das Klima zu deutende, Verminderung der Zahl der Atemzüge zustande kommen kann. Wir beobachteten nämlich an allen unseren Versuchspersonen durchschnittlich eine Verminderung der Zahl der Atemzüge während der Dauer des Gipfelaufenthaltes, ganz analog wie wir sie schon im Jahre 1903 bei Durig, nicht aber bei Zuntz gesehen hatten. Von wesentlicher Bedeutung kann diese Verminderung der

Frequenz der Atemzüge bei uns aber keinesfalls gewesen sein, da die Ausschläge nicht größere sind als jene, die man unter Umständen in der Ebene an ein und derselben Versuchsperson ermittelt. Übrigens geht ja selbst das Maximum der Atemfrequenzen, das wir in Körperruhe auf dem Monte Rosa beobachteten, kaum über jene Größen hinaus, die auch bei gesunden Menschen in der Ebene vorkommen.

Wir stehen also hinsichtlich der Atemfrequenz auf dem Punkte, den bereits Mosso als erwiesen angenommen hatte, daß es Personen gibt, bei denen im Höhenklima eine Frequenzsteigerung eintritt, und solche, bei denen diese fehlt, ferner, daß bei Personen, bei denen tatsächlich eine Atemfrequenzsteigerung auftrat, eine Verminderung der Frequenz bei längerem Aufenthalt auftreten kann. Als eine charakteristisch unter dem Einflusse der Höhenwirkung eintretende Erscheinung glauben wir aber, wenn auch die Versuche an Kolmer, Reichel, Rainer und Durig dafür sprechen, daß im Höhenklima eine Frequenzsteigerung eintritt, derzeit eine solche nicht annehmen zu können, insolange nicht durch zahlreiche Beispiele gezeigt ist, daß die Beobachtungen von Mosso wie von Zuntz und seinen Mitarbeitern aus irgendwelchen Gründen unverläßliche waren. Es ist jedoch unwahrscheinlich, daß ein solcher Beweis erbracht werden wird, da zum Beispiel bei Zuntz in zwei verschiedenen Jahren (1901 und 1903) von verschiedenen Beobachtern keine Frequenzsteigerung auf dem Monte Rosa nachgewiesen werden konnte.

Was die von Fuchs beobachtete Periodizität der Atemfrequenz im Höhenklima während einzelner aufeinanderfolgender Minuten betrifft, so wurde eine solche bereits von Mosso vor 15 Jahren beschrieben. Mosso betont jedoch ausdrücklich, daß er eine solche an sich und anderen nur unter ganz besonderen Versuchsbedingungen und zwar vorübergehend beobachtete. Sogar ein periodisches Blasser- und Röterwerden der Haut hat Mosso bereits bei Bizzozero in der Capanna Margherita gesehen und als vorübergehendes Zeichen bestehender Bergkrankheit gedeutet.

Auch in unseren Protokollen begegnen wir ab und zu Schwankungen in der Atemfrequenz, doch sind diese weder gesetzmäßig aufgetreten, noch entsprachen sie einem andauernden Befunde. Selbst im Beginne des Gipfelaufenthaltes am Tage der Ankunft traten solche Schwankungen bei uns nicht typisch auf und, wenn wir ab und zu solche Unregelmäßigkeiten in der Atmung beobachteten, so verschwanden diese nach kurzem Zuwarten fast stets vollständig, so daß die Durchführung des Respirationsversuches ungestört vor sich gehen konnte. Einige Respirationsversuche mußten allerdings auch auf dem Monte Rosa — geradeso wie in der Ebene — abgebrochen und von neuem begonnen werden, wenn während der Probenahme die Gleichförmigkeit der Atmung keine befriedigende war.

Als Beispiele für die Tatsache, daß derartige Schwankungen in der Respirationsfrequenz auf dem Monte Rosa gar nichts Typisches vorstellten, mögen einige Zählungen der Atemzüge angeführt sein. So war die Atemfrequenz bei U. Mosso in aufeinander folgenden Minuten

in Gressoney (1627 *m*): 11, 13, 13, 14, 13, 11, 12;

in der Margheritahütte: 13, 13, 12, 12, 12, 13, 13, 13, 14;

somit war das Verhalten in der Talstation ganz analog dem auf dem Gipfel. Dasselbe finden wir bei der Versuchsperson Chamois. Die Werte lauteten für die Atemfrequenz

in Gressoney: 18, 19, 19, 18, 18;
in der Capanna Margherita: 16, 16, 16, 16, 16, 16, 17.

Bei Solferino sind sogar eher in Gressoney die größeren Unregelmäßigkeiten in der Atemfrequenz aufgetreten als auf dem Monte Rosa. Die Werte lauten

in Gressoney: 10, 10, 10, 8, 9, 9, 10, 9, 9, 9, 10,

und auf dem Gipfel: 12, 12, 12, 13, 14, 13, 14.

Man wird jedenfalls zugeben müssen, daß also ganz allgemein die Schwankungen in ganz gleicher Weise im Flachland wie im Hochgebirge beschaffen waren.

Wenn man gegen die hiebei verwendete Methodik Einwände erheben wollte, so werden diese durch die später ausgeführten Versuche Mosso's an Galeotti widerlegt, bei denen die graphische Registrierung zur Anwendung gelangte und Atemform wie Atemfrequenz mittelst Luftübertragung (es führte ein Schlauch durch die Wand in den Nebenraum) sowohl bei der wachenden wie bei der einschlafenden und wirklich schlafenden Versuchsperson bestimmt wurden. Wir finden in dem längsten, über drei Minuten sich erstreckenden Kurvenausschnitt die Frequenzen 19, 20, 20 Atemzüge, also wieder keine Spur einer bemerkenswerten Periodizität, obwohl die Atemtiefe keineswegs konstant war. Auch dann, wenn man die in einzelnen Minuten durch den zweiten Beobachter ausgeführten Zählungen der Respirationsfrequenz bei Zuntz und Durig (Tabelle IX*a* und *b*) ansieht, gelangt man zum Resultate, daß bei ihnen keine anderen Schwankungen in der Atemfrequenz im Hochgebirge vorkamen als in der Ebene. Die Atemfrequenzen wechselten in aufeinanderfolgenden Minuten auf dem Gipfel (wie in der Ebene) nicht mehr als um einen Atemzug und selbst diese Abweichungen sind aus der Art der Zählung noch zu einem guten Teile zu erklären.

Genau so liegen die Verhältnisse für unsere Versuche vom Jahre 1906, während deren wir viel öfter (durch Stricheln) die Zahl der Atemzüge in ganzen Reihen von Minuten bestimmten. Bei keinem von uns traten in tadellosen Versuchen Perioden von höherer und dann niederer Atemfrequenz auf. Es sei nur ein Beispiel angeführt:

Aus Versuch 6 (Kolmer, Wien):

13, 13, 12, 13, 12, 12, 13, 14, 12, 13,

aus Versuch 114 (Kolmer, Monte Rosa):

19, 19, 18, 18, 18, 19, 19, 19, 19.

Hinsichtlich der Frage nach dem periodischen Wechsel in der Atemfrequenz, der im Hochgebirge auftreten soll,[1] kann daher zusammenfassend festgestellt werden, daß ein Beweis für das Zustandekommen solcher Schwankungen als Ausdruck einer typischen Einwirkung des Höhenklimas noch keinesfalls erbracht ist, da sämtliche früher nach verschiedenen Methoden untersuchten Personen eine solche Periodizität nicht zeigten. Ob typische Perioden im Hochgebirge an einzelnen Personen auch dann beobachtet werden können, wenn die Zählungen in einwandfreier Weise ausgeführt werden, muß neuerlichen Experimenten überlassen bleiben.

Es ist ferner derzeit nicht zu entscheiden, ob durch die subjektive Beobachtung (wie in den Versuchen von Fuchs) derartige Perioden infolge eines periodischen Wechsels der Aufmerksamkeit, wie wir dies aus der Sinnesphysiologie kennen, nur vorgetäuscht werden[2] oder ob die Ursache dafür in einer ungleichmäßigen Innervation der Muskulatur gesucht werden kann, da die Versuche von Fuchs ja keine Ruheversuche waren.

Was die Steigerung der Atemfrequenz im Hochgebirge betrifft, ist festzustellen, daß diese vorhanden sein kann, aber anscheinend bei manchen Personen fehlt. Berücksichtigt man das Absinken des Luftdruckes, so steht unzweifelhaft fest, daß bei jenen Personen, welche eine Erhöhung der Atemfrequenz aufwiesen, diese nicht annähernd so groß war, als daß hiedurch bei gleichbleibender Atemtiefe das Absinken des Luftdruckes hätte kompensiert werden können.

---

[1] Ausgesprochene Perioden in der Atemfrequenz konnten wir während Respirationsversuchen auf dem Meere beobachten, trotz besonderer Aufmerksamkeit auf das eventuelle Eintreten dieser Erscheinung gelang es uns jedoch niemals, diese auf dem Pic von Teneriffa nachzuweisen.

[2] Siehe voranstehende Anmerkung, aus der hervorgeht, daß auch bei objektiver Zählung unter ganz besonderen Umständen Perioden beobachtet werden können.

Vielleicht kann übrigens ein Teil der Atemfrequenzsteigerung im Beginne des Monte Rosaaufenthaltes auf Grund der Erhöhung der Körpertemperatur erklärt werden und darin auch die Ursache für die allmähliche Verminderung der Frequenzerhöhung während des lange dauernden Gipfelaufenthaltes in unseren Versuchen erblickt werden. Diese Annahme ist aber aus zwei Gründen keine einwandfreie. Erstens ist bei Kolmer,[1] dessen Körpertemperatur am wenigsten erhöht war, die Vermehrung der Zahl der Atemzüge pro Minute am allerstärksten aufgetreten und zweitens bestand die Erhöhung der Atemfrequenz auch zu einer Zeit noch fort, zu der bei uns allen die Körpertemperatur schon ganz oder nahezu ganz zur Norm zurückgekehrt war.

Wir müssen demnach die bei uns und einigen anderen Personen beobachtete Erhöhung der Atemfrequenz in eine Reihe mit jenen Erscheinungen stellen, die wohl als Folgen der Klimawirkung im Hochgebirge auftreten können, aber nicht auftreten müssen und deren Ausmaß je nach individuellen Verhältnissen ein recht verschiedenes ist. Als eine entscheidende Regulation, die dem Druckabfall entgegenzuwirken hat, kommt die Frequenzzunahme aber nicht in Betracht. Es scheint übrigens näherliegend, daß der Mensch im Höhenklima auf die Reize, die durch die Luftverdünnung gesetzt werden, mit einer Vertiefung der Atemzüge und nicht so sehr mit einer Erhöhung der Frequenz reagiert, da der Erfolg einer Beschleunigung der Atmung bei gleichbleibendem Minutenvolum geradezu ein ungünstiger wäre und zu einer Verminderung der alveolären Sauerstoffspannung führen müßte, während eine Erhöhung der Atemtiefe günstigere Verhältnisse für die Sauerstoffversorgung schafft.[2]

In jenen Fällen, in denen vom Hause aus die Atemfrequenz schon eine relativ große ist, ist daher eine weitere Zunahme der Frequenz im Hochgebirge unwahrscheinlich, während dann, wenn die Frequenz bei größerer Tiefe in der Ebene geringer ist, wohl eher die erstere als die letztere steigen dürfte. Das Verhalten von Zuntz, dessen geringe Atemfrequenz wir schon hervorhoben, spricht aber nicht in diesem Sinne, da er trotzdem keine Frequenzsteigerung im Hochgebirge zeigte, was neuerdings darauf hindeutet, daß in solchen Höhen wie auf dem Monte Rosa die Frequenzänderung mit der Sauerstoffversorgung des Körpers, beziehungsweise mit den Reizen auf das Atemzentrum nur in einem recht oberflächlichen Zusammenhang steht. Es ist wohl ganz sicher, daß erst dann, wenn die Deckung des Sauerstoffbedarfes eine schwierigere wird und die Atemarbeit bei Vergrößerung der Atemtiefe eine unverhältnismäßig größere werden würde,[3] die Zahl der Atemzüge, nicht aber die Tiefe derselben gesteigert wird.

Über die Nachwirkung eines Höhenaufenthaltes auf die Atemfrequenz.

Die Zahl der Versuche, die in Talstationen in unmittelbarem Anschluß an den Aufenthalt im Höhenklima gemacht wurden, ist relativ klein. In den Versuchen von Jaquet und Stähelin fand sich hiebei kein ausgesprochener Einfluß des Klimawechsels. Die Atemfrequenzen erfuhren durch den Abstieg vom Chasseral nach Basel keine wesentliche Veränderung:

Chasseral 15·8
Basel 15·1 und zehn Tage später 15·0

Wenn man aus den Zahlen etwas herauslesen wollte — und da es sich um Mittelwerte aus zahlreichen Versuchen handelt, ist dies vielleicht erlaubt — so würde der Abstieg eine Abnahme der Frequenz zur Folge gehabt haben. Diese Annahme scheint dadurch eine Stütze zu gewinnen, daß vor dem Aufstiege zum Gipfel 17·1 Atemzüge im Mittel beobachtet wurden.

Bei der Expedition des Jahres 1901 sind die diesbezüglichen Resultate eindeutig; alle drei Personen zeigten eine Abnahme der Frequenz; wesentlich und außerhalb gewöhnlicher Schwankungen liegend ist nur die Abnahme bei Kolmer, bei Müller und Loewy dürfte man eher von einer Konstanz sprechen.

---

[1] S. p. 73 dieses Bandes.

[2] Diese Tatsache wurde schon von A. Loewy im pneumatischen Kabinett vor mehr als 15 Jahren nachgewiesen. Über Respiration und Zirkulation etc., Berlin, Hirschwald, 1895.

[3] Reach und Röder, Biochemische Zeitschr., XXII, p. 471.

	Kolmer	Müller	Loewy
Brienz vor dem Rothornaufenthalt	17·4	10·3	11·9
» nach » »	13·6	9·5	11·3
	— 3·8	— 0·8	— 0·6

Anläßlich unserer Versuche bei der Expedition des Jahres 1906 fanden wir bei Durig und bei Reichel nach der Rückkehr vom Semmering ebenfalls eine geringe Abnahme der Respirationsfrequenz nicht nur unter den Wert, der auf dem Semmering beobachtet wurde, sondern auch unter jenen von Wien vor dem Aufstieg.

	Durig	Reichel
Wien vor dem Semmeringaufenthalt	10·4	13·6
» nach » »	9·0	12·8

Überraschenderweise fanden wir dies Verhalten aber beim Abstieg vom Monte Rosa nicht einheitlich bestätigt. Die Werte lauten:

	Durig	Kolmer	Rainer	Reichel
Monte Rosa	13·8	19·3	17·0	17·2
Alagna	8·1	21·2	17·7	16·4
Semmering	12·6			13·5

Zur Kontrolle sind die Werte aus jener unserer Höhenstation, die Alagna in bezug auf die Höhenlage am nächsten steht — dem Semmering — beigegeben. Bei Durig hat die Atemfrequenz beim Abstieg eine ganz auffallende, sogar bis unter die Höhe des Wiener Wertes reichende Verminderung erfahren. Bei Reichel ist eine, wenn auch nicht so extreme Abnahme erfolgt, wobei ein Wert zustande kam, der über jenem liegt, der für ihn sonst bei einem Aufenthalte in Alagna Geltung haben dürfte. Kolmer und Rainer weisen sogar Zunahmen der Frequenz über das zuletzt auf dem Monte Rosa gefundene Mittel auf.

Fuchs fand nach der Rückkehr vom Monte Rosa dieselben Werte für die Atemfrequenz in Col d'Olen, Alagna und Erlangen, seine Atemfrequenz war also genau auf seine »Normalzahlen« abgesunken.

Die großen Unterschiede, denen wir also nach dem Dargelegten begegnen: bei einigen Personen Zunahme der Frequenz, bei anderen Abnahme, eventuell sogar Abnahme unter die Norm oder bis eben zur Norm oder einem Werte, der wenig von dieser abweicht, gestatten daher derzeit noch keinerlei sicheren Einblick, inwiefern die Raschheit des Abstieges, die Dauer des Höhenaufenthaltes oder der Unterschied in der Höhenlage auf das Verhalten der Atemfrequenz nach der Rückkehr ins Tal von Einfluß ist; es bedarf daher noch weiterer Studien, um diese Frage zu klären und das Gesetzmäßige festzustellen.

Erwähnt möge sein, daß wir alle nach dem Abstieg vom Monte Rosa das Gefühl eines Überschusses an Luft und ungemein erleichterter Atmung hatten, ohne daß sich dies in der Atemmechanik ausdrückt.

C. Über die Atemfrequenz bei der Arbeit.

Von den zahlreichen Versuchen, die von verschiedenen Autoren ausgeführt wurden, sind deshalb nur wenige zu Schlüssen verwertbar, da die zugehörigen analogen Kontrollbeobachtungen fehlen.

Unter gleichartigen Bedingungen wurden im Hochgebirge und in der Ebene von Fuchs Versuche ausgeführt; diese beziehen sich auf die Steharbeit und ergaben als Resultat, daß bei diesem Autor die Atemfrequenz beim Stehen im Hochgebirge gegenüber dem Liegen mehr erhöht war als in der Ebene.

Der Wert dieses Resultates wird hinsichtlich der Frage der Atemfrequenz bei der Arbeit dadurch wesentlich eingeschränkt, daß die Arbeit beim Stehen eine verschwindend kleine ist[1] und daß die mechanischen Bedingungen für das Atmen im Stehen viel ausgiebiger verändert sind als der Umsatz, den wir als Ausdruck für die Größe der geleisteten Arbeit ansehen können.[2]

Auch Hantelversuche führte Fuchs aus und beobachtete, daß bei ihm nach der Ausführung der Hantelübungen die Atemfrequenz auf dem Monte Rosa langsamer zu ihrem früheren Wert zurückkehrte als in Erlangen. Auch die Vermehrung, die die Zahl der Atemzüge hiebei erfuhr, war im Höhenklima größer als in der Ebene. Diese betrug gegenüber der Ruhefrequenz nach 30 Hantelübungen

in Erlangen 41 $^0/_0$,
auf Col d'Olen 77 $^0/_0$,
in der Capanna Margherita 106 $^0/_0$.

Es hat also ein und dieselbe Arbeit bei ihm auf Col d'Olen fast zu einer Verdoppelung, in der Capanna Margherita zu einer Vermehrung auf das $2^1/_2$fache geführt.

Die Beobachtungen von Fuchs stellen nur eine Wiederholung der bereits von Mosso in großem Maßstabe ausgeführten Hantelversuche vor; eindeutig können auch diese Resultate nicht genannt werden, da beim Hantelversuch einerseits die Ausbildung der Übung, worauf Mosso selbst hinweist, in Betracht kommt, anderseits aber zu berücksichtigen ist, daß die Atemmechanik durch die Inanspruchnahme eines Teiles der auxiliären Respirationsmuskeln und durch die Verschiebung, die die Lage des Thorax und jene der Baucheingeweide erfährt, ganz wesentlich beeinflußt ist.

Von den Resultaten, die Mosso betreffs dieser Versuche beschreibt, sei erwähnt, daß er länger dauernde Beschleunigung der Atmung nach Beendigung gleich großer Arbeit[3] in den meisten Fällen beobachten konnte, wenn die Versuche im Gebirge ausgeführt wurden. Auch während der Arbeit trat meist — aber nicht stets — eine größere Frequenzsteigerung auf als in der Ebene. Daß aber auch dies keine Gesetzmäßigkeit vorstellt, ergibt der Versuch am Soldaten Marta, der die je 5 *kg* schweren Hanteln in der Capanna Margherita im Vier-Sekunden-Rhythmus 185 mal nacheinander hob, ohne daß eine Steigerung der Atemfrequenz eintrat!

So mächtige Steigerungen der Atemfrequenz bei Hantelversuchen, wie sie jedoch Fuchs an sich gefunden hat, beobachtete selbst bei wesentlich größerer Arbeit Mosso bei seinen Soldaten nicht, ausgenommen vielleicht in dem einen Fall, in dem seine Versuchsperson Solferino nach einer durchschwärmten Nacht, in der dieser zu viel Wein getrunken haben dürfte, zur Hütte Linty aufgestiegen war. Das von Fuchs in Selbstbeobachtung gewonnene Ergebnis kann daher nicht zur Aufstellung einer Gesetzmäßigkeit verwertet werden, ja es bleibt wohl erst weiteren Beobachtungen überlassen, festzustellen, unter welchen Bedingungen so hochgradige und mit der Höhenlage gesetzmäßig wachsende Atemfrequenzsteigerungen bei der Arbeit eintreten.

Die äußere Arbeit ist bei Hantelübungen, wenn wir diese berechnen, übrigens gewiß keine große, wenn es auch keinem Zweifel unterliegt, daß das Heben von 5 *kg* schweren Hanteln während 12 Minuten ununterbrochen im Viersekundentakt eine imponierende und anstrengende Leistung ist. Der Effekt berechnet sich hiebei jedoch unter Annahme einer Hebung um 60 *cm* bei jeder Übung nur auf $2 \times 0 \cdot 60 \times 5 \times \frac{60}{4} = 90$ *mkg* pro Minute gegenüber einem Effekt von 500 bis 1000 *mkg* pro Minute, der beim Bergauf-

[1] Siehe p. 265 dieses Bandes.

[2] Die Verhältnisse liegen im Versuche von Fuchs darum noch weniger klar, weil es sich bei ihm ja um keinen vollkommenen Ruheversuch handelt und dann der Umsatz im Liegen größer als beim Stehen sein kann, wie zum Beispiel bei Widlund (siehe p. 267).

[3] Diese bestand in 120 bis 130 Hantelübungen.

gehen leicht zu erreichen ist.[1] Allerdings ist bei einer solchen Berechnung zu bedenken, daß in dieser die Leistung der Muskeln für Bremsarbeit, jene der Stammesmuskeln für das Fixieren der Stellung u. a. nicht einbezogen ist.

Auf Grund dieser Anführungen ergibt sich, daß derzeit unsere Kenntnisse über das Verhalten der Atemfrequenz bei der Leistung von Arbeit recht mangelhafte sind, denn in jenen Versuchen, in denen die Methode der Zählung der Atemfrequenz eine korrekte gewesen ist, handelte es sich teils um eine sehr geringe Arbeit, teils um eine ungewöhnte Arbeit und endlich um eine Arbeit, bei der die Atemmuskulatur durch die Tätigkeit selbst in Anspruch genommen wurde. Wir sind deshalb zur Beurteilung der Abhängigkeit der Atemfrequenz von der Leistung gewohnter Arbeit eigentlich ausschließlich auf jene Versuche angewiesen, die mit Hilfe der Respirationsapparate ausgeführt wurden, die wir aber wegen des Einflusses der Methodik auf die Atemmechanik nicht als einwandsfrei anerkennen konnten. In Bezug auf die Bedeutung der Werte muß daher nochmals betont werden, daß wir diese nur als Vergleichswerte betrachten dürfen, die aussagen, wie sich die Atemfrequenz unter den gleichartigen Versuchsbedingungen verhalten habe.

III*a*. Zuntz. Horizontalmarsch.

Ort	Meereshöhe *m*	Weg pro Minute *m*	Atemzüge pro Minute
Berlin	54	56·1	6·6
Capanna Margherita	4560	60·0	15·5
		61·2	15·0
		63·5	15·0
		66·7	15·6

III*b*. Durig. Horizontalmarsch.

Ort	Meereshöhe *m*	Weg pro Minute *m*	Atemzüge pro Minute
Wien	250	70—80	18·4
		80—90	22·2
		102	22·3
Semmering	1000	100—110	20·7
Col d'Olen	2856	94	20·0
Capanna Margherita	4560	80—90	26·1
		91	26·1

III*c*. A. Loewy, J. Loewy und L. Zuntz. Horizontalmarsch.

Ort	Meereshöhe *m*	Weg pro Minute *m*	Zahl der Atemzüge pro Minute		
			A. Loewy	J. Loewy	L. Zuntz
Berlin	250	60—70	11	12	11[1]
Col d'Olen	2856	60—70	11	11	7

[1] 50 bis 60 *m* pro Minute.

[1] Größer ist die Arbeit natürlich, wenn die Hantelübung mit gleichzeitiger Kniebeuge verbunden ist, hiebei kann vorübergehend sogar mehr Arbeit als bei forciertem Gehen geleistet werden, durch die Wirkung auf das Zwerchfell ist dabei aber auch der Einfluß der Übungen auf die Atmung ein ganz ungewöhnlicher und von allen sonstigen Bedingungen abweichender.

III *d.* Reichel. Horizontalmarsch.

Ort	Meereshöhe *m*	Weg pro Minute *m*	Atemzüge pro Minute
Wien	250	95—105	16·3
Semmering	1000	95—105	16·0

Aus den beiden Hilfstabellen *a* und *b* geht hervor, daß bei Zurücklegung annähernd analoger Wegstrecken auf horizontalem Boden in der Capanna Margherita ungleich frequenter geatmet wurde als in Berlin und Wien. Wie schon an früherer Stelle erwähnt, war das Gehen in der Hütte allerdings ein wesentlich weniger bequemes als bei den Versuchen in der Ebene. Die Frequenzsteigerung ist dessenungeachtet aber unzweifelhaft zum größeren Teile auf die geringere Höhe des Luftdruckes, beziehungsweise die hieraus entstehenden Folgen zurückzuführen. Im Gegensatz zu diesem Befunde stehen die Resultate der Versuche in geringeren Höhen.

Sowohl auf dem Semmering wie auch auf Col d'Olen atmeten bei denselben Marschgeschwindigkeiten alle fünf untersuchten Personen mit derselben Atemfrequenz wie in der Ebene. Das Verhalten ist also bei einer so mäßigen Steigerung der Verbrennungsvorgänge, wie sie der Horizontalmarsch mit sich bringt, dasselbe wie in Körperruhe gewesen. Zu bemerken wäre nur, daß die Versuche auf der Sporneralp, bei denen Horizontalmärsche von Durig ausgeführt wurden, wegen der Unvergleichbarkeit der Verhältnisse in die voranstehende Tabelle nicht aufgenommen wurden.

Von den Versuchen über die Atmung bei der Steigarbeit können nur jene, welche in Berlin, auf dem Rothorn und auf Col d'Olen, beziehungsweise bei der Bétempshütte angestellt wurden, einigermaßen verglichen werden, da sie auf festem Weg ausgeführt wurden, während Parallelen zu den Gletschermärschen auf dem Monte Rosa nur in den Beobachtungen, die in Wien im Winter auf beschneitem Wege ausgeführt wurden, vorliegen. Besonders beweisend für das Verhalten der Atemmechanik sind die Versuche vom Bilkengrat, bei denen unmittelbar im Anschlusse die Atemmechanik in verschiedenen Höhen während eines kontinuierlich fortgesetzten Marsches untersucht wurde. Vergleichbar sind in den folgenden Tabellen die Versuche, in denen der Effekt, ausgedrückt in Meterkilogrammen Steigarbeit pro Minute, annähernd derselbe war.

IV *a.* Zuntz und Schumburg (Steigarbeit).

Ort	Meereshöhe *m*	Zuntz		Schumburg	
		Effekt *mkg*/Min.	Atemfrequenz	Effekt *mkg*/Min.	Atemfrequenz
Berlin	54	459·6	6·7	763·1	18·6
Bétempshütte	2990	445·7	10·9	618·8	19·8

IV *b.* A. Loewy, J. Loewy und L. Zuntz (Steigarbeit).

Ort	Meereshöhe *m*	A. Loewy		J. Loewy		L. Zuntz	
		Effekt *mkg*/Min.	Frequenz	Effekt *mkg*/Min.	Frequenz	Effekt *mkg*/Min.	Frequenz
Berlin	54	550—600	13·4	450—600	13·5	695	11·0
Col d'Olen	2856	450—500	17·0	450—600	13·0	450—600	11·4

IV*c*. Expedition 1901 (Steigarbeit).

Ort	Meereshöhe *m*	Waldenburg		Kolmer		Caspari		Müller		Loewy		Zuntz	
		Effekt *mkg*/Min.	Frequenz	Effekt *mkg*/Min.	Frequenz	Effekt *mkg*/Min.	Frequenz	Effekt *mkg*/Min.	Frequenz	Effekt *mkg*/Min.	Frequenz	Effekt *mkg*/Min.	Frequenz
Berlin	54	350–450	11	500—650	24	650—800	20	800—900	20	500—550	17	650—700	10
Brienz	500	350—450	11	1000-1100	40	650—800	21	800—900	20			650—700	12
Rothorn	2130	500—600	12·5	500—650 1000–1100	24·5 39	650—800	21	700—800	19	500—550	17	650—700	15
Col d'Olen	2856	500—600	15·5					800—900	20				

IV*d*. Durig 1905.

Ort	Meereshöhe *m*	Atemfrequenz	
		untrainiert bei 600—700 *mkg* Leistung	trainiert bei 900—1000 *mkg* Leistung
Wien	150	—	25
Bilkengrat	1790	30	23
»	1960	32	28
»	2240	29	30
»	2440	33	31

IV*e*. Expedition 1906 (Versuche auf Schnee).

Ort	Meereshöhe *m*	Durig		Kolmer		Rainer		Reichel	
		Effekt[2] *mkg*/Min.	Frequenz	Effekt *mkg*/Min.	Frequenz	Effekt *mkg*/Min.	Frequenz	Effekt *mkg*/Min.	Frequenz
Wien	150	600—700	18·2	650—850	41	570—670	64	800—900	21
Capanna Margherita[1]	4560	500—550	32	450—550	55	400—550	39	400—500	33

[1] Richtiger wäre, die etwas niedrigere Höhe des obersten Gletscherplateaus einzusetzen, der Einheitlichkeit halber ist die Höhe des Gipfels angegeben.

[2] Unter Effekt ist Nettoeffekt zu verstehen, also reine Hebung des Körpergewichtes ohne Rücksicht auf die Arbeit zur Überwindung der Widerstände des Schnees.

Die Durchsicht der einzelnen Teile der Tabelle lehrt, daß in Brienz gegenüber Berlin noch keine Frequenzsteigerung bei gleich großer Leistung zu beobachten war *(c)*, auf dem Rothorn (2130 *m*) trat bei Zuntz allein, dessen Frequenz im Tale ganz auffallend niedrig liegt, eine Erhöhung der Zahl der Atemzüge ein, die auch bei Waldenburg angedeutet ist. Drei Versuchspersonen wiesen in dieser Höhe noch keine Vermehrung der Atemzüge bei der Arbeit auf. In einer Höhe von nahezu 3000 *m* (Col d'Olen, Bétempshütte) finden wir wieder die deutliche Vermehrung bei Zuntz und bei Waldenburg, aber auch bei A. Loewy, sie fehlte bei J. Loewy, L. Zuntz und nahezu ganz auch bei Schumburg. Im ganzen scheint aus den

Versuchen hervorzugehen, daß jene Personen, die bei der Arbeit in der Ebene eine geringe Atemfrequenz aufgewiesen hatten, bereits in geringerer Höhe mit einer Steigerung der Atemfrequenz bei der Arbeit reagierten, was ja insoferne sehr plausibel ist, als sie eben im Tale schon eine relativ bedeutende Atemtiefe aufwiesen und nun bei der Mehranforderung an den Respirationsapparat mit einer Vermehrung der Atemzüge antworteten, während jene, die in der Ebene schon schneller, aber flacher atmeten, vorerst durch Vertiefung der Atemzüge den Bedarf zu decken trachteten.

Daß dabei das Training eine Rolle spielt, machen die Versuche an Durig auf dem Bilkengrat wahrscheinlich *(d)*. Bei wesentlich größeren Leistungen sind die Atemfrequenzen bei ihm im trainierten Zustand niedriger als im untrainierten. Im untrainierten Zustande machte sich bei hoher Atemfrequenz der Einfluß der Meereshöhe zwischen 1790 und 2440 *m* nicht geltend, während er im trainierten Zustand ganz eindeutig hervortrat.[1] Man wird also in niederen und mäßigen Höhen nicht schlechtweg davon sprechen dürfen, daß die Frequenz der Atmung bei gleicher Leistung pro Minute umso höher sein müsse, je mehr der Luftdruck absinkt, sondern (vorausgesetzt, daß unsere nicht einwandfreie Methodik diese Behauptung zuläßt) einem individuellen Verhalten Rechnung tragen, je nachdem die Atemfrequenz bei einer Person vorher höher oder niedriger gewesen ist. Wenn bei forzierten Leistungen, zum Beispiel bei Kolmer (zirka 1000 bis 1100 *mkg* pro Minute), die Frequenz in der Ebene eine sehr hohe ist, so ist eine weitere Frequenzzunahme beim Vordringen in größere Höhen, wenn der Luftdruck nicht sehr stark sinkt, natürlich unwahrscheinlicher als eine Zunahme der Atemtiefe.

Unzweifelhaft ist auf dem Monte Rosa-Gipfel die Frequenzsteigerung ausgesprochen. Es wurde also getrachtet, dem Sauerstoffmangel auch durch eine wesentliche Vermehrung der Zahl der Atemzüge zu steuern.

Zwei Ausnahmen sind nun in der Tabelle erkennbar, die eigentlich recht lehrreich sind. Kolmer weist während der Märsche eine viel höhere Frequenzsteigerung auf als wir übrigen, er verhält sich also in Bezug auf seine Atemmechanik sicher unzweckmäßig und wir begegnen hier vielleicht zum erstenmale einem Hinweis auf seine wesentlich geringere Marschleistungsfähigkeit, ja, vielleicht kann man daraus auch auf ein gewisses Übelbefinden schließen, das möglicherweise als ein Symptom beginnender Bergkrankheit zu deuten ist. Dieselbe, nur noch etwas größere Frequenzerhöhung beobachteten wir nämlich auch bei Rainer in Wien, der während der Wintermärsche über Unwohlsein, Mattigkeit, Kopfschmerz und Neigung zum Erbrechen klagte, dennoch führte er drei Versuchsmärsche aus, deren Resultat aber ganz an den Marsch Kolmer's auf dem Monte Rosa erinnert.[2]

---

[1] Es ist allerdings hierbei daran zu denken, daß die Ermüdung und damit die progressive Anhäufung von Stoffwechselprodukten infolge der Muskeltätigkeit während des Aufstieges in Betracht gekommen sei und sich unabhängig von der Höhenwirkung geltend gemacht habe. Erfahrungen die in diesem Sinne sprechen, liegen in den Versuchen von Zuntz und Schumburg (»Physiologie des Marsches«, p. 358 u. 359) vor. In diesen Beobachtungen zeigte sich, daß nach ermüdender Muskelarbeit in der Ebene eine Steigerung der Atemfrequenz eintritt; die Vermehrung der Zahl der Atemzüge war aber eine recht bescheidene und kaum gesetzmäßig ausgesprochene. Es beweisen diese Versuche also geradezu, daß im Gefolge anstrengender Arbeit an und für sich keine erhebliche Frequenzsteigerung eintritt. Auch im Höhenklima war bei Durig, solange die Leistung während der Bilkengratversuche noch eine geringe war, die Frequenzsteigerung nicht gesetzmäßig ausgesprochen. Bei großem Umsatz pro Minute und wesentlich erhöhter Leistung im Training sind aber mit dem Ansteigen des Sauerstoffverbrauches in der Zeiteinheit die Atemfrequenzen gestiegen. Die Gesamtleistung war ja im Training die nämliche gewesen wie in den Versuchen vor der Ausbildung des Trainings, es war also zu einer hochgradigeren Ermüdung im trainierten Zustande ganz und gar kein Grund vorhanden. Dasjenige, was sich in den Grundbedingungen der beiden Versuchsserien jedoch änderte, ist das Mißverhältnis zwischen Anbot und Verbrauch an Sauerstoff, und naturgemäß mußte dieses Mißverhältnis um so mehr in den Vordergrund treten, je größer der Effekt und je größer die Luftverdünnung (Meereshöhe) war, in welcher der gesteigerte Effekt produziert wurde. Insofern kann eine Anhäufung von reichlicherem, weniger weit oxydiertem Materiale oder von Stoffen im Blute, die das Atemzentrum reizen, für die Frequenzsteigerung verantwortlich gemacht werden, hierin liegt aber eben der Ausdruck einer spezifischen Wirkung eines der im Höhenklima wirksamen Faktoren. Jene Erscheinung, die im Prinzip in der Ebene auf dieselben Grundlagen zurückzuführen war, ist eben unter Zunahme des Mißverhältnisses zwischen Sauerstoffanbot und Sauerstoffverbrauch markant hervorgetreten.

[2] Ein analoges Beispiel dazu bildet der eben erwähnte Versuch Mosso's an dem übernächtigen Soldaten Solferino auf der Lintyhütte.

Leider können die Marschversuche auf dem Gipfel vom Jahre 1901 und 1903 nicht verwertet werden, da ihnen Versuche auf Schnee mit annähernd gleich großen Leistungen nicht gegenübergestellt werden können. Jedenfalls war auch bei ihnen die Atemfrequenz wesentlich gesteigert. Kolmer zeigte bei 373 *mkg* Steigarbeit pro Minute 42 Atemzüge (gegen 55 bei 450 bis 550 *mkg* im Jahre 1906), also einen Wert, der mit dem neuerlich beobachteten in sehr guter Übereinstimmung steht. Caspari wies als Versuchsperson auf dem Monte Rosa ein ganz ähnliches Verhalten auf wie Kolmer, er bedurfte schon über 40 Atemzüge bei einer knapp über 300 *mkg* Steigarbeit pro Minute betragenden Leistung. Gering war die Atemfrequenz bei Zuntz auch auf dem Monte Rosa (16 bis 18 Atemzüge), seine Leistung war aber auch klein, denn sie betrug nur wenig über 200 *mkg* pro Minute. Auch bei Durig waren damals entsprechend der geringen Arbeit die Atemfrequenzen viel niedriger, sie lagen zwischen 20 und 24 Atemzügen pro Minute.

Aus dem Angeführten geht hervor, daß bei uns mit Zunahme der Leistung, die auf dem Monte Rosa bei der Arbeit ohnehin schon erhöhte Frequenz unter Steigerung der Leistung überraschend schnell in die Höhe getrieben wurde und zwar rascher als in der Ebene, was wohl wieder damit zusammenhängt, daß, wie gezeigt werden wird, bei uns auch die Atemtiefe bei gleicher Arbeit auf dem Monte Rosa eine erhöhte war. Inwieweit individuelle Schwankungen sich bei der Atemfrequenz in so großen Höhen geltend machen und welchen Einfluß das Training auf diese ausübt, bedarf erst weiterer Feststellung, insbesondere ist es aber nötig, die Frage unter Anwendung einwandfreierer Methodik, als wir sie verwendeten, zu studieren Unzweifelhaft werden Gehversuche zweckmäßiger als Hantelversuche angesehen werden müssen, bei denen nicht nur die Übung im Heben der Hanteln, sondern auch die Rückwirkung der Tätigkeit der Oberarm- und Schultermuskulatur auf den Thorax und die Atembewegungen zu berücksichtigen ist.[1]

Im Anhange zu den genannten Beobachtungen sei auch der ungemein gewissenhaft durchgeführten Versuche gedacht, die Marcet bereits im Jahre 1878 ausführte. Er hatte sich für die Beobachtungen über die Steigarbeit einen eigenen Apparat »Rocking-board« konstruiert, bestehend aus zwei Balken, die in der Mitte um eine Achse drehbar waren und auf der einen Seite mit Gewichten belastet wurden, während auf der anderen die Versuchsperson durch abwechselndes Niedertreten der Balken meßbare Arbeit nach dem Takte eines Uhrwerkes leistete. Auch dabei war die Arbeit keine große.[2] Marcet beobachtete dabei an sich wie an seinem Führer Cupelin eine Zunahme der Atemfrequenz in größerer Höhe.

	Seehöhe	Marcet	Cupelin
Puerto	0	11·3	9·0
Guajara	2161	12·9	12·6
Alta Vista	3261	13·0	11·5

Wie die Zahlen zeigen, war diese Zunahme aber nur in 2161 *m* Höhe erkennbar, während auf der Alta Vista kein weiterer Zuwachs der Atemfrequenz mehr beobachtet wurde.

2. Über das Verhalten der Atemtiefe.

Über die Atemtiefe in Körperruhe.

Eingehende Studien über die Atemtiefe und deren Veränderlichkeit im Höhenklima hat wohl als erster Mosso ausgeführt. Er war es, der die Gasuhr für die Bestimmung der Atemvolumina zuerst mit ins Hochgebirge nahm und zahlreiche graphische Aufzeichnungen über die Atemtiefe verdanken wir

[1] Diese wird ja auch therapeutisch bei der Behandlung der Tuberkulösen verwertet.

[2] Marcet hob 39·5 Pfund 45mal pro Minute um 5·06 Inches, was einer Hebung von 14·7 *kg* auf 14·27 *cm* = 94 *mkg* pro Minute gleichkommt.

ebenfalls seinen mühevollen Untersuchungen.[1] Er und seine Schüler haben reiches Tatsachmaterial beigebracht, so daß es wohl genügt, auf die zahlreichen Publikationen der Turiner Schule zu verweisen.[2] Von jenen Erscheinungen, die im Hochgebirge hinsichtlich der Atemtiefe ganz besonders auffallen, ist gewiß das Auftreten der periodischen Atmung das allerbemerkenswerteste. Mosso hat sich eingehend mit dieser Frage beschäftigt.[3]

Haldane und dessen Schüler Douglas haben durch Versuche, die wegen der Einfachkeit, mit der sie ausgeführt wurden, geradezu als genial bezeichnet werden können, nachgewiesen, wie man auch an normalen, im Lehnsessel sitzenden Personen durch Erzeugung vorübergehender Apnöe (durch Überventilation und Entfernung der Kohlensäure) Cheyne Stokes'sches Atmen erzeugen kann.[4] Die Erscheinung kennzeichnet sich ausgesprochen als eine Folge der Wirkung des Sauerstoffmangels, beziehungsweise durch periodische Schwankungen im Sauerstoffmangel und im Gehalte des Blutes an Stoffen, die reizend auf das Atmungszentrum wirken. Wir beobachteten während des Einschlafens und im Schlafe an uns allen wiederholt das periodische Atmen, das auch am Schlusse des Gipfelaufenthaltes bei uns immer noch ab und zu auftrat. Auch die Kustoden und unser Freund Alessandri, die den ganzen Sommer auf dem Gipfel zubringen, zeigten dasselbe Phänomen. Selbst während des Atmens durch die Gasuhr konnten wir an der einschlafenden Versuchsperson das Cheyne Stokes'sche Atmen nachweisen und die Volumina der einzelnen Atemzüge hiebei direkt messen.[5] Hieher würde auch der Hinweis auf die Veränderung im Atemtypus gehören, welche Mosso an seinen Soldaten beobachtete.[6]

Die mittlere Atemtiefe, die sich aus der Größe des pro Minute geatmeten Volumens und der Zahl der pro Minute ausgeführten Atemzüge ergibt, steht naturgemäß in einem gewissen Wechselverhältnis zur Atemfrequenz, weshalb die einzelnen Versuchspersonen, deren Atemfrequenz wir im Voranstehenden besprachen, sich auch hinsichtlich der Atemtiefe verschieden verhalten.

Gegenüber den Beobachtungen Mosso's über die Atemtiefe ist leider eine gewisse Reserve nötig, denn die absoluten Größen, mit denen wir es in diesen zu tun haben, lassen den Verdacht, daß störende Momente in den Versuchsbedingungen die Messungen beeinflußt haben, gerechtfertigt erscheinen.[7] Es verlieren dadurch die überraschenden Ergebnisse, die zum Beispiel an Solferino gefunden wurden, sehr an Beweiskraft, denn wir wissen, daß selbst in der Ebene ein Mann von 64 *kg* Körpergewicht mehr als 3722 cm^3 Luft pro Minute (im Mittel 4433 cm^3 unreduziert) atmet, umso unwahrscheinlicher würde in 4560 *m* Höhe eine Ventilation von rund 2 *l* reduziertem Volum pro Minute sein. Die Größen für den Erhaltungsumsatz können eben, wenn der Mensch überhaupt leben soll, unter gewisse Werte nicht sinken.

Es sei daher nur erwähnt, daß außer Solferino, der nach dem Gesagten wohl auszuschalten ist,[8] von den sieben untersuchten Personen der Expedition Mosso's nur eine einzige eine Abnahme der Atemtiefe

---

[1] Siehe Laboratoire scientifique international du Monte Rosa, Tome I u. II.

[2] Siehe auch die Arbeiten in den Rendiconti della R. Accademia dei Lincei und Archives italiennes de Biologie.

[3] Laboratoire scientifique du Monte Rosa, II, p. 1.

[4] Journal of the Physiology, XXXVIII, p. 401.

[5] Arch. f. (Anatomie und) Physiologie, 1904, Suppl., p. 439.

[6] »Der Mensch auf den Hochalpen«, p. 50.

[7] Siehe oben, p. 139 dieses Bandes.

[8] Da wir für Solferino einen Sauerstoffverbrauch von rund 240 cm^3 pro Minute annehmen müssen, würden von den 420 cm^3 Sauerstoff, die pro Minute von ihm in 2000 cm^3 reduzierten Volumens eingeatmet wurden, nur mehr 180 cm^3 in der Exspirationsluft erscheinen, was einem Gehalte von rund 9 Prozent Sauerstoff in der Exspirationsluft entsprechen müßte.

Wollen wir die alveolare Tension bei diesem Prozentgehalt der Exspirationsluft und bei einer Frequenz von 13 Atemzügen (siehe obige Tabelle) berechnen unter der Voraussetzung, daß Solferino 4000 cm^3 Luft pro Minute atmete, so kommen wir zu Werten, die überzeugend die Unmöglichkeit eines solchen Gaswechsels dartun. Es entspricht dann der Tiefe eines Atemzuges ein Wert von rund 300 cm^3 mit einem Gehalte von rund 27·0 cm^3 Sauerstoff, von denen 140 cm^3 mit 21 Prozent Sauerstoff, das ist 29·3 cm^3 aus dem schädlichen Raume stammen sollten, die nicht einmal im Atemzuge exspiriert wurden! Aber selbst dann, wenn wir den Mittelwert aus den Versuchen an Solferino zugrunde legen, erhalten wir einen Wert für die Sauerstofftension, der den Tatsachen

beim Übergang von Gressoney (1627 *m*) auf den Monte Rosa gezeigt hat; bei dieser war aber die Atemfrequenz von 11 auf 15 Atemzüge gestiegen.

Von Zuntz und seinen Mitarbeitern ist nur bei Loewy in Körperruhe kein Steigen der Atemtiefe auf dem Monte Rosa beobachtet worden, was uns ebenfalls dadurch erklärlich wird, daß seine Atmungsfrequenz eine sehr starke Zunahme gezeigt hat. Im Jahre 1896 war aber auch bei ihm die Steigerung der Atemtiefe beim Aufstieg von Berlin nach Col d'Olen eingetreten. Zunahmen der Atemtiefe wiesen auch Marcet, dessen Führer Cupelin, Zuntz und Schumburg, A. und J. Loewy und L. Zuntz auf. Auch in den Versuchen von Jaquet und Staehelin war die Zunahme der Atemtiefe bereits auf dem 1600 *m* hohen Chasseral ausgesprochen.[1]

Unsere neuen Versuche ergaben nachstehende Werte für die Atemtiefe bei Körperruhe, die in der folgenden Tabelle zusammengestellt sind.

V*a*. Atemtiefe in Körperruhe (cm^3).

Ort	Meereshöhe *m*	Durig	Kolmer	Rainer	Reichel
Wien (Winter)	150	559·6			522·4
Frühling		587·9	523·7	415·4	588·4
Sommer		496·0	539·4	422·2	466·1
Semmering	1000	590·8			520·7
Alagna	1190	655·6	408·9	427·3	454·0
Sporner Alpe	1326	477·6			
Col d'Olen	2856	510·0			
Capanna Margherita I .	4500	641·8	517·1	521·5	607·9
II .		700·8	549·2	551·7	625·0

V*b*.

	Waldenburg	Kolmer	Müller	Caspari	Loewy	Zuntz
Berlin	566	382	740	400·9	438	zirka 900
Brienz	646	432	502	362·9	394	648
Rothorn	689	412	420	365·1	246	782
Col d'Olen	722		585			
Capanna Margherita	885	462	1079	698·6	399	1495

nicht entsprochen haben kann. Einem Volum von 4433 cm^3 unreduziert entsprechen auf dem Monte Rosa reduziert rund 2500 cm^3, diese enthalten 525 cm^3 O_2, es erübrigen also nach Abzug des Verbrauches von 240 cm^3 nur mehr 285 cm^3 für das Exspirationsgemisch, das demnach 11·4 Prozent Sauerstoff enthalten hätte. Pro Atemzug ergeben sich 4433 : 13 = 341 cm^3 mit 38·9 cm^3 Sauerstoff, von denen 29·3 cm^3 nicht aus der Lunge stammten, so daß in der Lunge 4·8 Prozent O_2 enthalten gewesen wären. Nehmen wir einen Gasdruck von 400 *mm* (abzüglich der Wasserdampftension bei 37°C) an, so entspricht dies einem Sauerstoffdruck von 19·2 *mm*, bei welchem das Leben nicht mehr gefristet werden könnte. Der Berechnung liegt allerdings der Fehler zugrunde, daß das inspirierte Volumen gleich dem Exspirierten angenommen wurde, ein Fehler, dem unter Rücksicht auf dem respiratorischen Quotienten und die Wasserdampfspannung ja unschwer Rechnung getragen werden könnte.

[1] Arch. f. experimentelle Pathologie, Bd. 46, p. 296. Eine Zusammenstellung hierüber auch in der Festrede von Jaquet (l. c.).

Die Atemtiefen waren bei uns im Sommer und im Winter in Wien verschieden. Bei Durig und Reichel war die Atemtiefe im Winter größer als im Sommer, was natürlich noch mehr zum Ausdruck gekommen wäre, wenn wir die Atemtiefen auf das Gasvolumen bei 37°C und Sättigung mit Wasserdampf umrechnen wollten, was man eigentlich korrekterweise bei den Angaben der Atemtiefe tun müßte.

Kolmer und Rainer verhalten sich aber gerade umgekehrt, bei ihnen war die Atemtiefe in der kalten Jahreszeit und im Sommer fast genau dieselbe und Durig wie Reichel hatten im Frühjahre sogar tiefere Atemzüge als im Winter. Die Verhältnisse hinsichtlich des Einflusses der Temperatur sind daher, wie man auch ohne Umrechnung des Volums der Atemzüge auf jene Gasmenge, die ihnen in der Lunge entsprach, erkennt, noch ganz ungeklärte, bei unseren Versuchen konnte keinerlei eindeutiger Zusammenhang zwischen der Atemtiefe und der Lufttemperatur nachgewiesen werden, sei es, daß die Versuche in der Kälte des Winters[1] oder während der heißen Jahreszeit ausgeführt wurden, wir unterließen daher die Umrechnung der Versuche auf gleiche Temperatur.

Was den Einfluß der Höhenstation betrifft, so verhielten sich die einzelnen Versuchspersonen diesem gegenüber ebenfalls keineswegs gleichartig. In den Höhen unter 3000 *m* fand sich bei Durig keine ausgesprochene Zunahme oder sogar eine Abnahme der Atemtiefe. Bei der Rückkehr vom Monte Rosa wiesen zwei Teilnehmer eine Abnahme der Atemtiefe unter den Wiener Wert auf, bei Rainer fanden wir in Alagna denselben Wert wie auf dem Monte Rosa, und bei Durig — damit die Mannigfaltigkeit voll sei — eine Zunahme der Tiefe gegenüber dem Wiener Werte. Es handelt sich also abermals um ein ganz gesetzloses Verhalten, das rein individuellen Einflüssen auf die Versuchsperson unterworfen ist, die sich viel mächtiger geltend machten als die Höhenwirkung. Die Berechtigung individuelle Unterschiede für das Verhalten der Atemmechanik verantwortlich zu machen, ergibt sich aus der Tatsache, daß wir uns sämtlich im Stoffwechselversuch, also unter ganz analogen Ernährungs- und Lebensbedingungen befanden.

In der Capanna Margherita ist in den Mitteln einheitlich bei uns allen eine Vergrößerung der Atemtiefe zur Ausbildung gelangt, diese ist bei Kolmer nur gegenüber dem Werte von Alagna deutlich.

Die Atemtiefe war am Schlusse des einmonatlichen Aufenthaltes bei uns allen höher als am Beginne, es hat sich also im Sinne einer günstigen Wirkung auf die Höhe der alveolaren Sauerstofftension eine Vertiefung der Atemzüge ausgebildet, diese Wirkung ist aber im ganzen gegenüber dem Absinken des Sauerstoffluftdruckes in der Inspirationsluft eigentlich recht verschwindend klein ausgefallen, und bei Kolmer (der bergkranken Versuchsperson) fehlte sie ganz. Nur bei Durig ist der Wert der Vertiefung ein einigermaßen beträchtlicher. Es ist bemerkenswert, daß Kolmer auch im Jahre 1901 auf dem Monte Rosa gegenüber dem Brienzer Versuch,[2] den man als seinen Normalversuch ansehen kann, keine Vergrößerung der Atemtiefe aufwies.

Überblicken wir daher die von so zahlreichen Versuchspersonen von Mosso, Zuntz, Loewy, Müller und Caspari und endlich die von uns gewonnenen Resultate, so kommen wir hinsichtlich der Atemtiefe in der Tat zum selben Schlusse, den Mosso aus seinen Versuchen im Jahre 1894 zog, daß große individuelle Verschiedenheiten bestehen, und daß wir sowohl Zunahme wie Abnahme und Konstantbleiben der Atemtiefe in allen Höhen finden können, in denen bisher Untersuchungen über den Gaswechsel ausgeführt wurden.

Es ist weder ein bestimmtes Verhalten der Atemfrequenz noch ein solches der Atemtiefe charakteristisch für die Einwirkung der klimatischen Faktoren in Höhen, die bis zu 4560 *m* betragen.

Es wäre noch die Frage zu erörtern, ob ähnliche Nachwirkungen des Höhenaufenthaltes wie bei uns auch bei anderen Personen zu beobachten gewesen seien und ob nicht eventuell ein rasch sich ausbildender Vorgang der Anpassung das Bild der örtlich bestimmten Atemtiefe verschoben hat.

---

[1] und an Personen, die sich der Winterkälte ebenso wie der Sommerhitze aussetzten.

[2] Den Berliner Versuch glauben wir, bei ihm nicht voll rechnen zu dürfen (siehe Kapitel VIII).

Weder die Versuche von der Sporner Alpe noch jene vom Semmering sprechen im Sinne einer rasch und gesetzmäßig sich ausbildenden Anpassung;[1] auch aus den Rothorn-Versuchen von Zuntz und seinen Mitarbeitern geht kein solcher Einfluß hervor und ebensowenig kann ein solcher in den Beobachtungen von Durig und Zuntz auf Col d'Olen nachgewiesen werden. Nach unseren bisherigen Erfahrungen hätten wir daher nur bei langem Aufenthalt auf dem Monte Rosa-Gipfel bei manchen Personen eine Anpassung im Sinne einer Vertiefung der Atemzüge zu erwarten; eine solche fand sich ganz unzweifelhaft bei Zuntz und Durig im Jahre 1903, was folgende Werte für die Atemtiefe erweisen:

	Zuntz	Durig[2]
22. August 1903	886	584
3. u. 4. September 1903	1245	707

Über eine Nachwirkung des Höhenaufenthaltes auf die Atemtiefe finden sich bei anderen Beobachtern ebensowenig ausgesprochene Gesetzmäßigkeiten als bei uns.

Auch Fuchs hat sein Verhalten in Bezug auf die Atemtiefe in einigen Selbstbeobachtungen untersucht. Er deutete seine Werte folgendermaßen: Beim Aufstieg von Erlangen nach Col d'Olen fand eine Vertiefung der Atmung, auf der Capanna Margherita eine Verflachung derselben statt, beim Abstieg nach Col d'Olen erhöhte sich die Atemtiefe, um in Alagna und in Erlangen nach der Rückkehr wieder wesentlich niederere Werte zu zeigen.

Fuchs glaubt, aus seinen Versuchen ableiten zu können, daß die Temperaturunterschiede und die Gewöhnung an diese, für das Verhalten ausschlaggebend sei, unter der Voraussetzung, daß die Temperatur den Tonus der Atemmuskeln beeinflußt. »Ich bin der Ansicht, daß die primäre Regulation,[3] welche bei gesteigertem Atembedürfnis eintritt, die Vertiefung der Atmung ist. — Wird die ausreichende Vertiefung der Atmung durch besondere Bedingungen behindert, dann tritt natürlich die Frequenzvermehrung als Kompensation in Kraft. Im Hochgebirge wirken die niederen Temperaturen zunächst einer genügenden Vertiefung entgegen und deshalb tritt zuerst eine entsprechende Frequenzvermehrung ein. Aus den Beobachtungen über die Abstiegperiode glaube ich sagen zu dürfen, daß bis zu Höhen von 3000 *m* eine Vertiefung des einzelnen Atemzuges bei vollkommener Bettruhe eintritt, sobald der Organismus hinreichend akklimatisiert ist und nicht besondere individuelle Gründe für eine verminderte Beweglichkeit des Thorax und des Zwerchfelles vorliegen. In größeren Höhen nimmt die Tiefe des Atemzuges ab. Die Höhengrenze, bis zu welcher eine Vertiefung des Atemzuges eintritt, scheint nach den in der Literatur niedergelegten Beobachtungen individuell verschieden zu sein. — Die Zunahme der Atemtiefe im Hochgebirge bei Ruhelage ist von großer praktischer Bedeutung für die Behandlung von Lungenkrankheiten.«

Es ist natürlich im allgemeinen kein Grund vorhanden, einem Autor, der »einer Ansicht« ist, die Berechtigung oder Nichtberechtigung der Ansicht zu erweisen, in diesem Falle ist es aber nötig, auf dieselbe einzugehen, da auch praktische Konsequenzen, ohne daß der Verfasser hiefür genügende Grundlagen hat, gezogen werden. Es kann nicht als zulässig angesehen werden, daß auf Grund von an sich selbst ausgeführten Einzelnbeobchtungen sofort allgemein gültige Schlüsse aufgestellt werden. Theoretische Spekulationen mögen ja immerhin in reicher Zahl gemacht werden, allzu großen Wert wird man ihnen, besonders wenn sie so wenig fundiert sind wie die angeführten, nicht beimessen. Sanatorien werden in Höhen bis zu höchstens 2500 *m* bewohnt, eine Vertiefung der Atemzüge in diesen Höhen, die aber nur einigermaßen in Betracht käme, wurde weder bei Durig noch bei Kolmer, Caspari, Müller oder

---

[1] Reichel und Durig verhielten sich genau entgegengesetzt.

[2] Die Werte stimmen ganz befriedigend mit jenen vom Jahre 1906 (Tab. V) überein, die Größe der Anpassung ist eine ganz ähnliche.

[3] Die gesperrten Worte wurden vom Autor selbst gesperrt.

Loewy oder Zuntz (*Vb*) beobachtet, und zwar auch bei relativ langem Aufenthalte nicht. In Col d'Olen fand sich eine Zunahme der Atemtiefe bei Waldenburg und Fuchs, bei Durig und Müller fehlte sie, obwohl Durig in bezug auf Beweglichkeit des Thorax oder des Zwerchfelles mit Fuchs recht gut in die Schranken treten kann, was aus seinen Marschleistungen zu erschließen ist; auch bei A. Loewy fehlte die Vertiefung der Atmung auf Col d'Olen und in der Gnifettihütte, es ist demnach ein recht schwaches Fundament, auf das die Annahme einer entscheidenden Wirkung der Atemtiefe beim Aufenthalt des Tuberkulösen im Höhenklima gestellt ist und die Mehrzahl der Tuberkulösen würde wohl ohne günstigen Erfolg in die Ebene zurückkehren müssen, wenn nicht andere Wirkungen des Klimas in Betracht kämen. Nebenbei bemerkt, haben wir gar keinen Anhaltspunkt dafür, daß der von Fuchs supponierte Einfluß der Temperatur auf die Atemtiefe besteht, denn einerseits wurden von diesem Autor Beobachtungen über den Einfluß der Temperatur überhaupt nicht angestellt, anderseits lassen die von uns bereits vor mehr als zwei Jahren durchgeführten Versuche keinen gesetzmäßigen Einfluß der Temperatur erkennen, obwohl wir uns beabsichtigterweise der Wirkung niederer Temperatur auch in der Ebene dauernd in gewiß intensiverer Weise ausgesetzt haben, als dies andere Autoren jemals taten. [1] Auf die theoretischen Grundlagen der Wirkung des Höhenklimas auf das Atemvolumen wollen wir jedoch an dieser Stelle nicht näher eingehen, da sich hiezu im Zusammenhange mit der Besprechung der übrigen Wirkungen des Höhenklimas ausreichend Gelegenheit geben wird.

Über die Atemtiefe bei der Arbeit.

Wie bei der Besprechung der Frage der Atemfrequenz hervorgehoben wurde, ist es die Leistung, die in erster Linie auf die Größe der Atemtiefe und der Atemfrequenz wirkt. Natürlich macht sich auch bei Bestimmung der Atemtiefe der Einfluß der messenden Apparate in störender, aber doch unvermeidlicher Weise geltend, weshalb man hiebei ganz besonderes Schwergewicht darauf legen muß, daß es sich nur um Vergleichswerte handeln könne.

Da das Verhalten des Atemvolumens ohnedies im folgenden Abschnitte besprochen werden soll, möge es genügen, wenn hier nur unsere neueren Versuche, wie jene vom Bilkengrat angeführt werden, da erstere die einzigen sind, bei denen Beobachtungen in sehr großer Höhe mit jenen in der Ebene verglichen werden können, während die Versuche auf dem Bilkengrat darum besonders wertvoll erscheinen, da mehrere, in verschiedenen Höhen gelegene Versuchsstrecken unmittelbar nacheinander begangen wurden.

VI*a*. Expedition 1906. Atemtiefe bei der Steigarbeit.

Ort	Meereshöhe *m*	Durig		Kolmer		Rainer		Reichel	
		Effekt. *mkg*/Min.	Atemtiefe	Effekt. *mkg*/Min.	Atemtiefe	Effekt. *mkg*/Min.	Atemtiefe	Effekt. *mkg*/Min.	Atemtiefe
Wien (auf Schnee)	150	600—700	1946·3	650—850	1067·6	570—670	512·1	800—900	2054·7
Capanna Margherita	4560	500—550	1725·1	450—550	1149·8	400—550	1166·5	400—500	1539·9
Wien (Sommer)	150	900—1000	1943·7	650—750	1122·2	650—800	2046·1	1000—1100	2224·1

[1] Bezüglich des Einflusses der Temperatur auf den Muskeltonus müßten wir übrigens wohl zwischen Umgebungs- und Körpertemperatur entscheiden. Diese verhielten sich bei uns auf dem Monte Rosa gerade entgegengesetzt. Die Körpertemperatur lag über der Norm, die Umgebungstemperatur tiefer, als man sonst in Wohnräumen gewöhnt ist. Es sei hier auch auf die grundlegen-

VI*b*. Durig (Sporner Alpe 1905).

	Mereshöhe *m*	Untrainiert		Trainiert	
		Effekt. *mkg*/Min.	Atemtiefe	Effekt. *mkg*/Min.	Atemtiefe
Wien	150			900—1000	1944
Bilkengrat I	1790	600—700	1283		2398
II	1960		1224		2060
III	2240		1443		1706
IV	2440		1375		1746

Die Beobachtungen ergaben also eigentlich ein überraschendes Resultat. Die Atemtiefe ist auf dem MonteRosa während der Arbeit bei uns gegenüber der Ebene nicht erhöht gewesen. Bei Kolmer blieb sie konstant, bei uns übrigen ist sie gesunken, und zwar sowohl dem Winterversuch in Wien gegenüber als auch im Vergleich mit dem Sommerversuche, in dem die Leistung natürlich ungleich größer war, wobei aber das Gefühl der Anstrengung dasselbe blieb wie im Versuche auf Schnee. Bei Rainer fällt als Ausnahme die ungemein geringe Tiefe im Winterversuch auf, während dessen er, wie erwähnt, unwohl war. Durig, Rainer wie Reichel hätten vermöge ihres Atemapparates auf dem Monte Rosa viel tiefer atmen können, denn alle drei atmen fast einheitlich beim Versuch auf Schnee wie im Sommerversuch (Rainer im Winter ausgenommen) rund 2 *l* mit jedem Atemzug. Wenn Kolmer mit seiner Atemtiefe in der Ebene so weit zurückbleibt, so liegt darin wohl ein Ausdruck minder großer Leistungsfähigkeit seiner Respirationsmuskulatur und wenn wir diese Annahme als statthaft erachten, so würde die große Atemtiefe bei Durig auf dem Monte Rosa, die sogar jene von Reichel, der ihm an Körpergröße weit überlegen ist, übersteigt, auf eine besondere Leistungsfähigkeit seiner Atmungsmuskeln hindeuten, die ihn im Vereine mit seinem trainierten Herzen und seiner trainierten Muskulatur zu anhaltend schnellem Marschtempo (als Schnellgänger im Gebirge) befähigen.

Dieses Resultat, daß die Atemtiefe bei gleich großer Arbeit im Hochgebirge bei uns nicht entsprechend ansteigt, findet seine Bestätigung im Bilkengratversuche Durigs. Bereits im untrainierten Zustande, in dem der Effekt noch relativ gering ist, ist keine charakteristische Zunahme der Atemtiefe mit dem Vordringen in größere Höhen erkennbar, betrachten wir aber das Verhalten der Atemtiefe in trainiertem Zustand, so nimmt die Tiefe in der größeren Höhe ab, und zwar unter jenen Wert, den wir in Wien im Sommer ermittelten.

Man ist natürlich versucht, nach einer Erklärung dieser Erscheinung zu forschen. Eine sehr naheliegende Möglichkeit besteht darin, daß die Druckdifferenz zwischen Binnenraum der Lunge und Außenluft im Hochgebirge bei der Inspiration geringer ist und infolgedessen die Luft langsamer in den Thorax einströmt, so daß der Reflex für die Auslösung des nächsten Atemzuges (beziehungsweise vorerst der Exspiration) erfolgt, bevor die Lunge bis zum Druckausgleich mit Luft gefüllt ist. Die Verminderung der Druckdifferenz kann nun bedingt sein durch den niederen Atmosphärendruck überhaupt, sowie durch den Verbrauch eines relativ großen Teiles der Druckdifferenz durch

---

den Versuche von A. Loewy hingewiesen (Pflüger's Arch., Bd. 46, p. 204 u. ff.), in denen die Wirkungen kurz dauernder Veränderungen der Umgebungstemperatur untersucht wurden. Aus den Werten ergibt sich nirgends ein gesetzmäßiger Einfluß der Umgebungstemperatur auf Atemfrequenz und Atemtiefe. Es seien zwei Beispiele angeführt:

Die Versuchsperson bekleidet Atemtiefe 0·49 *l* bei einer Zimmertemperatur von 13°C., dieselbe Person stark abgekühlt, nackt bei 13°C. 0·49 *l*. In vielen Versuchen findet sich bei niederer Temperatur sogar eine Frequenzzunahme, die wohl im Zusammenhange mit Muskelzittern steht. Die Versuchsperson weist bie 28° Umgebungstemperatur bedeckt 7·36 *l* Minutenventilation bei 27 Atemzügen auf, nackt fanden sich bei derselben Person bei 14° Umgebungstemperatur 7·86 *l* Minutenventilation und 27·7 Atemzüge.

Zuleitungen und Ventil. Ferner ist zu bedenken, daß ein Teil des äußeren Luftdruckes dazu verbraucht wird, die Lungen über ihren Ruhezustand gedehnt zu erhalten und dieser Teil ausgedrückt in Prozenten des atmosphärischen Luftdruckes ist natürlich im Hochgebirge größer als in der Ebene, er wird aber auch umso mehr ansteigen, je mehr die Lunge aus ihrer Ruhelage gedehnt ist.

Hier kommt natürlich auch die Frage der Vitalkapazität in Betracht, die, wie unten erörtert werden wird, im Hochgebirge vielfach vermindert ist. Man darf auch nicht vergessen, daß der Exspiration durch die Apparate Hindernisse entgegengesetzt sind. Das erste, was daher bei der Exspiration im Hochgebirge während des Atmens durch die Apparate geschehen muß, ist das, daß die Lungenluft in der Lunge so lange komprimiert werden muß, bis ihr Druck eben die Widerstände in den Apparaten überwindet, es wird daher ein Teil der Zeit, der bei freiem Atmen zum Abströmen des Gases aus der Lunge verwertet wird, für den eigentlichen Respirationsvorgang verloren gehen, so daß die Zeit, die für die Inspiration zur Verfügung steht, auf Kosten jener für die Kompression des Gases und für die Exspiration vermindert werden dürfte.

Da aus großen Höhen derzeit keine anderen verwertbaren Versuche vorliegen,[1] scheint es wohl wünschenswert, daß diese Beobachtungen eine Nachprüfung und Ergänzung erfahren, insbesondere wäre es wertvoll, wenn solche Experimente in lange dauerndem Versuch in der Respirationskammer unter Einwirkung verminderten Luftdruckes und im Gegensatz hiezu unter normalem Luftdruck bei Einatmen sauerstoffarmer Gasgemische ausgeführt werden würden, wobei die Zahl der Atemzüge durch die Versuchsperson selbst oder mit Hilfe des graphischen Verfahrens gezählt werden könnte.[2]

3. Das Minutenvolum.

Man bezeichnet in der Laboratoriumssprache die pro Minute gewechselte Gasmenge als »Minutenvolum« und kennzeichnet dieses als beobachtetes oder reduziertes Minutenvolum, je nachdem die bei der Ablesung an der Gasuhr erhaltenen Werte oder die auf 0° und 760 *mm* Druck reduzierten Werte angeführt werden. Der Kürze halber sei dieser Ausdruck auch hier beibehalten, da die Bezeichnung »Atemgröße« nur allzu leicht zu Verwechslungen mit Atemtiefe Anlaß geben kann. Es ist auch hiebei nötig, das Verhalten des Minutenvolums bei Körperruhe und Arbeit gesondert zu betrachten.

Das Minutenvolum bei Körperruhe.

Zu jenen Angaben, welche auf dem Gebiete der Atemmechanik das größte Aufsehen erregten, gehörte die These von Mosso, daß der Mensch in größerer Höhe ein viel geringeres Luftquantum atmet als in der Ebene. Dieses Ergebnis veranlaßte Mosso, den Begriff der Luxusatmung aufzustellen, unter der Voraussetzung, daß der Mensch in der Ebene ein wesentlich größeres Volumen atmet, als die Deckung

[1] Die Versuche von Marcet auf Teneriffa an den Rocking boards ergaben ebenfalls kein eindeutiges Resultat. Die Arbeit war bei diesen Beobachtungen wie oben erwähnt eine geringe. Bei Marcet fand sich in der höheren Station eine Abnahme, bei Cupelin eine Zunahme der Atemtiefe. Die Werte lauten in Litern unreduziert:

	Marcet	Cupelin
Puerto	1·20	1·76
Guajara	1·37	1·47
Alta Vista	1·14	1·92

[2] Zum Beispiel mit Zwaardemaker und Ouvenhand's Aerodromographen, der die Atmung am wenigsten beeinflußt. Arch. für (Anat. und) Physiologie 1904. Suppl., p. 241.

seines Sauerstoffbedarfes erfordert. Mosso schreibt hierüber: »Diese Einrichtung der Natur war notwendig; denn wenn die Menschen wie die Tiere immer nur das für ihre Erhaltung unbedingt notwendige Quantum Luft einatmen, so müßte sich, um hier einen Ausgleich zu schaffen, entweder die Frequenz oder die Tiefe der Atemzüge immer gleichzeitig mit jedem Wechsel des Barometerstandes, der bekanntlich oft sehr beträchtlich ist, ändern. Zahl oder Tiefe der Atemzüge müßten beispielsweise eine Zunahme erfahren, sobald wir nur einen Hügel hinaufsteigen. Man kann daher nur sagen, daß die Luxusatmung im Haushalte der Organismen ein ökonomisches Moment darstellt, insoferne sie die regulatorische Tätigkeit des Atmungsvorganges weniger kompliziert macht«[1].

Diesen Schlußfolgerungen können wir nun nicht beistimmen. Es wird sich im Folgenden zeigen lassen, daß die Mehrzahl der Versuchspersonen eine Steigerung des Minutenvolums im Höhenklima aufweist, allerdings ist diese vielfach nicht so groß, daß hiedurch das Absinken des Luftdruckes kompensiert würde. Vom ökonomischen Standpunkte ist es aber keines Falles zweckmäßig, wenn nur zur Vereinfachung der Regulation der Atemmechanik ständig eine Überventilation in der Ebene stattfinden würde. Die Frequenz und Tiefe der Atemzüge wechselt im Laufe des Tages ohnedies ungemein leicht und häufig und dazu bedarf es nicht einmal dessen, daß wir einen Hügel oder auch nur eine Treppe hinaufsteigen es genügt ja schon die Aufmerksamkeit auf die Atmung,[2] um die Atemfrequenz und Tiefe zu verändern Licht, Schall, Sehnervreize, psychische Reize aller Art, die Nahrungsaufnahme[3] variieren im Laufe des Tages hundertfältig die Atmung. Der Organismus reagiert also in der Ebene spielend auf alle möglichen Einflüsse, so auf Spuren von Kohlensäure, mit einer Veränderung der Atmungsfrequenz und der Tiefe, und zwar selbst unter Verhältnissen, unter denen er beim Bestehen einer aus ökonomischen Gründen unterhaltenen Luxusatmung gar keinen Grund hiezu hätte. Wir werden die Ursachen für die relativ große Ventilation in der Ebene daher nicht auf dem Boden einer ökonomischen Zweckmäßigkeit suchen dürfen[4] und werden später darauf zurückzukommen haben, daß wir die relativ erhöht scheinende Atmung in der Ebene ebensowenig als eine Luxusatmung bezeichnen dürfen, wie man etwa die Zufuhr von 100 *g* Eiweiß pro Tag als Zeichen eines Eiweißluxuskonsumes auffassen darf, weil manche Menschen sich auch mit 20 *g* Eiweiß pro Tag noch ins Stickstoffgleichgewicht setzen können.[5]

Vorerst möge festgestellt werden, in welchem Ausmaße eine Veränderung des Minutenvolums in verschiedenen Höhen stattfindet und welche Beweise für das Fehlen einer Steigerung des Minutenvolums vorliegen.

---

[1] Der »Mensch auf den Hochalpen«, p. 57.

[2] Weshalb ja auch Mosso selbst allerlei Vorsichtsmaßregeln beobachtete.

[3] Man denke an die Verdauungsdyspnoe.

[4] Neuestens bezeichnet es Haldane im Gegenteil als eine Zweckmäßigkeit, daß in der Ebene auf Änderungen im Kohlensäurereiz das Atemzentrum sofort in der feinsten Weise reagiert.

[5] Siehe zum Beispiel: Rubner, Volksernährungsfragen.

VII*a*. Größe des Minutenvolums in verschiedener Höhe.

Name	Ort	Meereshöhe *m*	Minutenvolum beobachtet	Minutenvolum reduziert	Prozentische Veränderung des beobachteten Minutenvolums	Prozentische Veränderung des reduzierten Minutenvolums	Autor
Marcet	Puerto	0	6440	5840			Nach Jaquet Rektoratsfeier, Basel 1904
	Guajara	2161	7620	5470	+ 18·3	— 5·8	
	Alta Vista	3261	8070	5140	+ 25·3	— 12·8	
	Fuß des Kegels	3580	8040	4990	+ 25·0	— 14·5	
Cupelin	Puerto	0	8510	7710			
	Guajara	2161	8450	6070	— 0·7	— 21·3	
	Alta Vista	3261	10190	6470	+ 19·7	— 16·1	
Mondo	Turin	720	6396[1]	4316			Mosso, »Der Mensch auf den Hochalpen«
	Chattillon	550	5576	3735	— 12·8	— 13·5	
	Col du Theodul	3324	6642	3272	+ 3·8	— 24·1	
M. Mosso	Gressoney	1627	6940	5660			
	Capanna Margherita	4560	8590	4900	+ 23·9	— 13·4	
Bizzozero	Gressoney	1627	8750	7130			
	Capanna Margherita	4560	9150	5170	+ 4·6	— 27·5	
Camozzi	Gressoney	1627	4900	3830			
	Capanna Margherita	4560	7950	4500	+ 62·2	+ 17·5	
Sarteur	Gressoney	1627	5620	4580			
	Capanna Margherita	4560	5826	3300	+ 3·6	— 28·0	
Solferino	Gressoney	1627	6410	5230			
	Capanna Margherita	4560	5540	3130	— 13·6	— 40·4	
Chamois	Turin	1720	7720	7560			
	Capanna Margherita	4560	8980	5230	+ 16·3	— 30·0	
Oberhoffer	Turin	720	8900	8730			
	Capanna Margherita	4560	9190	5200	+ 3·2	— 40·0	
N. Zuntz	Berlin	54	4988	4640			Zuntz und Schumburg, Pflüger's Arch., Bd. 63
	Zermatt	1600	5452	3937	+ 9·1	— 15·4	
	Bétempshütte	2990	6632	4255	+ 31·0	— 8·3	
Schumburg	Berlin	54	5653	5266			
	Zermatt	1600	6364	4823	+ 12·5	— 8·4	
	Bétempshütte	2990	7060	4520	+ 24·9	— 14·1	

[1] Ein anderer Wert von Turin lautet aber auch 4467.

Name	Ort	Meereshöhe *m*	Minutenvolum		Prozentische Veränderung des		Autor
			beobachtet	reduziert	beobachteten Minutenvolums	reduzierten Minutenvolums	
	Berlin	54	3950	3580			
A. Loewy	Col d'Olen	2856	5700	3770	+ 46·7	+ 5·3	
	Gnifettihütte	3647	6260	3710	+ 58·3	+ 3·7	
	Berlin	54	6030	5220			A. Loewy, J. Loewy und L. Zuntz, Pflüger's Arch., Bd. 66
J. Loewy	Col d'Olen	2856	5020	3300	— 16·7	— 36·3	
	Gnifettihütte	3647	7080	4280	+ 17·4	— 18·0	
	Berlin	54	4930	4360			
	Col d'Olen	2856	5490	3710	+ 11·4	— 14·9	
L. Zuntz	Gnifettihütte	3647	7760	4570	+ 57·9	+ 4·9	
	Capanna Margherita	4560	10550	5700	+114·6	+ 30·7	
Veraguth	Zürich	470	5260	4580			Nach Jaquet, Festrede
	St. Moritz	1769	6880	5340	+ 30·8	+ 16·6	
	Basel	270	7540	655			
Jaquet	Chasseral	1600	7060	5520	— 6·4	— 15·7	Arch. f. exp. Path., Bd. 46
	Basel	270	7450	6570			
	Berlin	54	5662	5148			
	Brienz	500	4848	4036	— 14·4	— 21·6	
Waldenburg	Rothorn	2130	5243	3766	— 7·4	— 24·0	
	Col d'Olen	2856	5961	3922	+ 5·2	— 23·8	
	Capanna Margherita	4560	5308	2847	— 6·2	— 44·8	
	Berlin	54	6571	6009	+ 0·6	— 6·0	
	Brienz	500	6615	5649			
Kolmer	Rothorn	2130	6585	4715	+ 0·3	— 21·5	
	Brienz	500	6089	5235	— 7·3	— 12·9	
	Capanna Margherita	4560	8323	4463	+ 26·7	— 25·8	Höhenklima und Bergwanderungen
	Berlin	54	5838	5182			
	Brienz	500	4610	3339	— 21·0	— 43·4	
Caspari	Brienz	500	5206	4519	— 10·9	— 12·8	
	Rothorn	2130	5659	4076	— 3·1	— 21·3	
	Capanna Margherita	4560	8467	4564	+ 45·1	— 11·9	
	Berlin	54	5801	5343			
	Brienz	500	5042	4460	— 12·0	— 16·5	
Müller	Rothorn	2130	5465	3916	— 5·8	— 25·0	
	Brienz	500	4862	4198	— 16·2	— 22·0	
	Col d'Olen	2856	5675	3715	— 2·3	— 30·7	
	Capanna Margherita	4560	8920	4815	+ 53·7	— 9·9	

Name	Ort	Meereshöhe m	Minutenvolum beobachtet	Minutenvolum reduziert	Prozentische Veränderung des beobachteten Minutenvolums	Prozentische Veränderung des reduzierten Minutenvolums	Autor
Loewy	Berlin	54	5041	4467			Höhenklima und Bergwanderungen
	Brienz	500	4531	3909	— 10·2	— 12·5	
	Rothorn	2130	5256	3761	+ 4·2	— 15·8	
	Brienz	500	4615	3981	— 8·6	— 10·8	
	Capanna Margherita	4560	6270	3387	+ 22·6	— 24·2	
Zuntz	Berlin	54	4877	4460			Arch. f. Anat. und Physiologie, 1904, Suppl.
	Brienz	500	4725	4118	— 3·1	— 7·7	
	Rothorn	2130	5474	3926	+ 12·3	— 11·9	
	Capanna Margherita	4560	8431	4609	+ 73·0	+ 3·3	
Durig	Wien	54	5972	5418			
	Col d'Olen	3856	6155	4067	+ 3·1	— 27·9	
	Capanna Margherita	4560	7970	4421	+ 33·3	— 18·2	
Zuntz	Berlin	54	4877	4460			
	Col d'Olen	2856	6050	3995	+ 24·1	— 10·4	
	Capanna Margherita	4560	7613	4290	+ 56·2	— 3·8	
G. Kuss 1903	Angicourt	100	7012	5880			Comptes rendus, Bd. 141.
	Chamonix	1065	7485	5538	+ 7·6	— 3·6	
	Obs. Vallot	4350	7900	3790	+ 12·7	— 35·6	
G. Kuss 1904	Angicourt	100	5594	4632			
	Chamonix	1065	6088	5511(?)	+ 8·8	—	
	Obs. Vallot	4350	7148	3434	+ 25·9	— 26·0	
H. K.	Angicourt	100	9431	7860			
	Chamonix	1065	9898	7350	+ 4·9	— 6·5	
	Obs. Vallot	4350	10090	4833	+ 7·0	— 38·8	
P. de F.	Angicourt	100	6533	5459			
	Chamonix	1065	7147	5305	+ 9·4	— 2·8	
	Obs. Vallot	4350	7000	3380	+ 7·3	— 38·5	
Dav	Angicourt	100	7420	6153			
	Chamonix	1065	10074	7487	+ 35·9	+ 21·8	
	Obs. Vallot	4350	10077	4879	+ 35·9	— 20·9	
Andrée	Angicourt	100	5875	4922			
	Chamonix	1065	6406	5735	+ 9·0	+ 3·7	
	Obs. Vallot	4350	8062	3872	+ 37·0	— 21·0	
M. Aug	Angicourt	100	6650	5511			
	Chamonix	1065	8050	5976	+ 21·6	+ 8·4	
	Obs. Vallot	4350	10087	4821	+ 51·6	— 12·5	

Name	Ort	Meereshöhe *m*	Minutenvolum		Prozentische Veränderung des		Autor
			beobachtet	reduziert	beobachteten	reduzierten	
					Minutenvolums		
Ro	Angicourt	100	6060	5022			
	Chamonix	1065	6225	4591	+ 2·8	— 8·6	
	Obs. Vallot	4350	6928	3352	+ 12·8	— 33·4	
Fuchs	Erlangen I	324	6414	5112			Sitz. Ber. Erlangen 1909
	Col d'Olen I	2856	7976	4620	+ ·25	— 10	
	Capanna Margherita	4560	7887	3667	+ 23	— 30	
	Col d'Olen II	2856	7540	4352	+ 17	— 15	
	Alagna	1190	6288	4514	— 2	— 12	
	Erlangen II	324	5657	4554	— 12	— 12	

Beobachtetes Atemvolum bei Mosso's Soldaten.

Ort	Meereshöhe *m*	Jacchini	Solferino	Sarteur
Gressoney	1627	8702	6871 [1]	6932 [2]
Alpe Indra	2515	9668	8011	5833
Lintyhütte	3047	8130	10122	7345
Gnifettihütte	3620	7722	7729	7294
Margherita-hütte	4560	9211	8907	6402
Gressoney	1627	10032	6595	5374

[1] Ein zweiter Wert lautet 9654, jener in Tabelle VII*a* 6416!
[2] Ein zweiter Wert lautet 5907.

VIII*a*. Minutenvolum von Durig (1903, 1905 und 1906) in Litern.

	Meereshöhe *m*	Minutenvolum		Prozentische Veränderung des	
		beobachtet	reduziert	beobachteten	reduzierten
				Minutenvolums	
Wien, Sommer	150	6·52	5·80		
Frühling		6·20	5·83		
Winter		5·85	5·39		
Nach Semmering		5·50	4·93		
Semmering	1000	6·79	5·79	+ 16·0	+ 7·4

	Meeres-höhe *m*	Minutenvolum		Prozentische Veränderung des	
		beobachtet	reduziert	beobachteten	reduzierten
				Minutenvolums	
Alagna I	1190	5·78	4·51	— 6·7[1]	—
II	1190	6·53	5·16	+ 5·0[1]	— 22·8
Sporner Alpe	1326	7·78	6·04	+ 19·4[2]	+ 3·4
Col d'Olen	2856	6·16	4·07	+ 3·1[3]	— 27·9
Capanna Margherita I	4560	10·01	5·53	+ 71·0	+ 2·4
II		9·78	5·22	+ 67·2	— 3·0
Capanna Margherita (1903 Beginn)	4560	7·72	4·18	+ 32·0	— 22·6
Capanna Margherita (1903 Ende)	4560	8·84	4·68	+ 52·9	— 13·0

[1] Gegen Wien, Frühling.

[2] Gegen Wien. Sommer.

[3] Gegen Wien im Jahre 1904: 5972 (ebenfalls Winter).

VIII *b*. Minutenvolum (Expedition 1906).

Ort	Kolmer				Reichel				Rainer			
	beob-achtet	reduz.	Prozent		beob-achtet	reduz.	Prozent		beob-achtet	reduz.	Prozent	
Wien, Sommer	6·51	5·96			7·19	6·41			7·13	6·59		
» Frühling	7·19	6·74			6·79	6·36			7·23	6·71		
» Winter									7·09	6·45		
Nach Semmering									6·57	6·05		
Semmering									7·00	5·93	— 1·3	—8·1
Alagna	8·57	6·79	+33·2	+30·5	7·60	6·07	+ 5·7	— 5·3	7·42	5·90	+ 4·0	—8·6
Monte Rosa I	10·28	5·71	+43·0	—15·4	9·08	4·83	+33·7	—24·1	11·56	6·57	+62·9	0
II	10·55	5·72			9·40	5·11	+38·3	—19·7	10·76	5·66	+50·1	—12·3

Wie die Tabellen ergeben, liegen Untersuchungen an zahlreichen Personen vor. Es wurde in den einzelnen Kolumnen das direkt bestimmte und das reduzierte Minutenvolum (auf 760 *mm*, 0° u. Trockenheit) gesondert behandelt und die relative Änderung gegen den in der Ebene, beziehungsweise in der niedrigst gelegenen Station beobachteten Wert berechnet. Das prozentuelle Verhältnis der Zu- oder Abnahme des Volums gibt in diesem Falle einen gewissen Einblick in die Verschiebung des Atemvolums unter dem Einfluß des Höhenklimas, weil die Minutenvolumbestimmungen Mitteln entstammen, die je aus mehreren, länger dauernden Versuchen gewonnen wurden, und auch die Werte, die in Vergleich gestellt wurden, relativ große sind. Ferner wissen wir, daß bei einwandfreier Anstellung von Versuchen mit der Gasuhr in zusammengehörigen Versuchen außerordentlich ähnliche Minutenvolumina gefunden werden. Zu bemerken wäre nur, daß zu unbedingter Vergleichbarkeit die beobachteten Minutenvolumina eigentlich auf die Temperatur von 37° C. und Sättigung mit Wasserdampf bei dieser Temperatur umzurechnen wären.

Zur ersten Übersicht diene folgende Hilfstabelle IX*a*.

IX*a*. Übersicht über die Änderung des beobachteten Minutenvolums.

Meereshöhe *m*	Zahl der untersuchten Personen	Zahl der Personen, bei denen das Minutenvolum		
		zunahm	konstant blieb	abnahm
Unter 600	7		3	4
» 1000	2	1	1	
bis 1500	11	8	2	1
» 2000	1	1		
» 2500	10	4	4	2
» 3000	13	8	3	2
» 4000	16	11	2	3
» 5000	29	24	3	2

Aus der vorstehenden Tabelle geht hervor, daß merkwürdigerweise in jenen Höhen, die am meisten als Sommerstationen aufgesucht werden (bis 1000 *m*), in der Mehrzahl der Fälle eine Abnahme des beobachteten Gasvolums ermittelt worden ist, in einigen Fällen blieb das Minutenvolum konstant, in einem einzigen wurde eine Zunahme beobachtet. Am einwandfreiesten sind in dieser Hinsicht wohl die Versuche, die wir in Wien und auf dem Semmering unmittelbar anschließend im Winter bei ganz analogen Temperaturverhältnissen ausführten (siehe Tabellen VIII*a* und *b*). Schon hier macht sich das individuell verschiedene Verhalten geltend. Obwohl die Versuchsbedingungen bei Durig und Reichel ganz identische waren — beide aßen ja sogar dieselbe Stoffwechselkost und waren für die Ausführung von Ruheversuchen besonders geeignet, da wir an ihnen immer die einheitlichsten Werte erhalten hatten — so zeigt doch Durig eine ganz ausgesprochene Zunahme des Minutenvolums auf dem Semmering, während Reichel keine Steigerung aufweist. Da im selben Sinne der Versuch an Durig auf der Sporner Alpe spricht, indem in unwesentlich größerer Höhe eine ganz entsprechende Steigerung der Ventilation beobachtet wurde und bei ihm auch in der Capanna Margherita eine auffallend große Vermehrung des Minutenvolums gefunden wurde, so würde Durig auf den Klimareiz hin besonders leicht — leichter als viele andere — zu einer Erhöhung der Ventilation neigen. Damit stehen allerdings die relativ geringen Ventilationssteigerungen vom Jahre 1903 nicht in Übereinstimmung (Tabelle VIII *a*).

Warum in Brienz im Jahre 1901 bei fast allen Teilnehmern an der Expedition so sehr erniedrigte Werte gegenüber Berlin gefunden wurden, ist nicht zu eruieren; zum Teile mögen ja geringere Übung im Respirationsversuch, besonders im vollkommenen Entspannen der Muskulatur die Ursache gewesen sein (Kolmer, Waldenburg und vielleicht Caspari), zum Teile handelte es sich in Berlin um Versuche, die nicht in vollkommener Nüchternheit ausgeführt wurden, zum Teile endlich kann eine tatsächliche Abnahme bestanden haben. Nach einer freundlichen persönlichen Mitteitung dürfte aber die Hauptursache darin zu suchen sein, daß die Brienzer Versuche sämtlich im Bette ausgeführt wurden, bevor die Versuchsperson sich am Morgen erhoben hatte, während die Berliner Versuche nach dem Frühstück und dem Gang ins Laboratorium angestellt wurden, also keine reinen Beobachtungen über den Erhaltungsumsatz vorstellen.

Hinsichtlich der Höhenstufe von 1000 bis 2000 *m* ist ebenfalls das entscheidende Wort über das Verhalten der Ventilation nicht gesprochen. Acht Versuchsreihen stammen von Kuss. Wir haben oben [1] erwähnt, daß gegründete Bedenken gegen die Richtigkeit der von ihm bestimmten Atemvolumina bestehen. Der Versuch von Veraguth ist, wie ebenfalls schon erwähnt, nicht als Ruheversuch aufzu-

[1] Siehe p. 142. Das Literaturzitat in der Fußnote beruht auf einem Druckfehler, es muß heißen Comptes rendus, Bd. 141, p. 273.

fassen.[1] Auch gegen den Versuch Jaquet's bestehen unzweifelhafte Bedenken.[2] Außer dem Sporner-Alp-Versuch wurden nur noch Beobachtungen in dieser Höhe angestellt, die nach der Rückkehr aus einer höher gelegenen Station ausgeführt wurden, also die Wirkung von zweierlei Komponenten in sich bergen.

Aus der Höhe von 2000 bis 3000 *m* liegen 24 Versuchsreihen vor; zu diesen gehören die Beobachtungen auf dem Rothorn, auf Col d'Olen und in der Bétempshütte. In vier Versuchen wurde eine Abnahme des Minutenvolums beobachtet. Ein verminderter Wert stammt von J. Loewy, die übrigen von Waldenburg, Müller und Sarteur. Da wir außerdem noch sieben Werte finden, in denen ein Konstantbleiben des Atemvolums in dieser Höhe zum Ausdruck kommt, so stehen 13 Versuchsreihen, in denen eine ausgesprochene Zunahme bestand, im ganzen 11 gegenüber, in denen keine Zunahme beobachtet wurde, es ist also für das Verhalten in dieser Höhenlage als wahrscheinlich anzunehmen, daß auf Grund individueller Verschiedenheiten nur etwa die Hälfte der Menschen mit einer Vergrößerung des Minutenvolums reagiert. In einer Höhe von 4000 bis 5000 *m* ist die Zunahme des Atemvolums schon in den allermeisten Fällen unverkennbar ausgesprochen. Sie fehlte nur beim Soldaten Solferino, dessen Atemvolum höchstwahrscheinlich unrichtig bestimmt wurde,[3] ferner bei Waldenburg, von dem nur ein unvollständiger Versuch aus dieser Höhe vorliegt. Auch je ein Versuch an Sarteur wäre hieher zu zählen, den wir ebenfalls nicht als zu sehr beweiskräftig ansehen dürfen, da bei den damaligen Mosso'schen Beobachtungen über das Atemvolum und den Chemismus des Gaswechsels noch recht große Mängel bestanden.[4] Allerdings dürfen wir auch den Versuchen von Kuss, die im Sinne einer Zunahme des Minutenvolums sprechen, keine allzu große Bedeutung beilegen und müssen berücksichtigen, daß in vielen Fällen die Volumzunahmen recht geringfügige sind, während in anderen Steigerungen des Minutenvolums um 60% und darüber beobachtet wurden.

Man gelangt also in bezug auf das Verhalten des Minutenvolums zu dem folgenden Resultat. Aus geringen Höhen liegt eine unzulängliche Zahl vergleichbarer Beobachtungen vor, und wir wissen derzeit nicht, ob in Höhen, die zu therapeutischen Zwecken aufgesucht werden, eine Steigerung der Minutenventilation oder sogar eine Abnahme derselben zustandekommt; auch können wir kaum angeben, ob die beobachteten Ausschläge nur auf rein akzidentellen Ursachen beruhen, die mit dem Höhenklima nichts zu tun haben.

Als wahrscheinlich ist ein individuell verschiedenes Verhalten zu erwarten.

In Höhen, wie sie dem Durchschnitt der Berggipfel auf unserem Kontinent entsprechen, ist trotz des wesentlichen Absinkens des Luftdruckes nur etwa bei der Hälfte der untersuchten Personen eine Steigerung des beobachteten Minutenvolums eingetreten und erst in den größten Höhen trat die Vermehrung der Ventilation fast[5] allgemein gültig zu tage. Ob es in der Tat auch Personen gibt, die selbst dann noch, wenn sie bis auf 4500 *m* oder mehr vordringen, keine Vermehrung der Ventilation aufweisen oder bei denen eine solche verschwindend klein ist, ist heute nicht zu entscheiden.

Es ist demnach die Steigerung des Minutenvolums jedenfalls keine derartige, daß man als allgemein gültiges Gesetz, wie man erwarten möchte, eine Zunahme des Volums proportional dem Absinken des Luftdruckes annehmen darf, und insbesondere in geringen Höhen ist die Wirkung des Höhenklimas auf die Ventilation keine charakteristische. Wir müssen uns daher vielmehr der Auffassung Jaquet's anschließen, obwohl seine Versuche keinen Beweis dafür geliefert hatten, daß erst in großen Höhen eine regelmäßig auftretende Ventilationssteigerung zu erwarten sei.

---

[1] Siehe p. 139.

[2] Siehe p. 163.

[3] Siehe p. 139.

[4] Siehe »Der Mensch auf den Hochalpen«, p. 270.

[5] Das Wort »fast« dürfte unter Berücksichtigung der Wertigkeit der Beobachtungen gestrichen werden dürfen.

Bevor wir auf das Verhalten des »reduzierten Minutenvolums« eingehen, ist es noch nötig, einige Einzelheiten aus unseren neuen Versuchen zu besprechen, wie jene Gesetzmäßigkeiten oder Vermutungen zu diskutieren, die von anderen Autororen namhaft gemacht wurden.

Wie aus Tabelle VIII*a* und *b* hervorgeht, hat die Jahreszeit und die Umgebungstemperatur bei uns keinen nachweisbaren Einfluß auf das (beobachtete) Minutenvolum ausgeübt. Bei Durig und Rainer war das Minutenvolum in der kalten Jahreszeit vermindert, bei Kolmer erhöht, bei Reichel blieb es konstant, das Verhalten ist also individuell ein verschiedenes gewesen.

Hier muß erwähnt werden, daß in den Versuchen von Marcet ein ausgesprochener Einfluß der Umgebungstemperatur auf das Atemvolum ausgebildet zu sein scheint; bei ihm war ebenso wie bei Cupelin das Atemvolum auf Teneriffa viel größer als in gleicher Höhe in der Schweiz. Marcet's Werte lauten in Litern reduzierten Volums geatmeterLuft.

Puerto (Teneriffa)	5·84
Guajara (Teneriffa)	5·47
Alta Vista (Teneriffa)	5·14
Am Genfersee	5·14
Riffel und St. Bernhard	4·63
Breithorn	4·74

und analog für Cupelin.

Wir hoffen die Gelegenheit zu haben, diese vor 30 Jahren doch noch mit recht unvollkommener Methodik ausgeführten Versuche in Bälde auf Teneriffa wiederholen zu können und dadurch Vergleichswerte zu unseren Beobachtungen auf dem Kontinent zu gewinnen.[1]

Ein vorangegangener Aufenthalt in größerer Höhe führte bei Durig (Alagna I nach dem Gipfelaufenthalt) zu einem Absinken der Ventilation unter die zu erwartende Größe, auch bei Rainer und Reichel dürften die Werte in Alagna etwas niederer ausgefallen sein, als sie dort beobachtet worden wären, wenn man sie vor dem Aufstieg ermittelt hätte, bei Kolmer endlich wurde ein relativ hoher Wert gefunden. Es sind demnach wieder Zunahme, Konstanz und Abnahme beobachtet worden, so daß nicht einmal eine Wahrscheinlichkeit für eine bestimmte Gesetzmäßigkeit besteht. Ganz ähnlich lagen übrigens die Verhältnisse bei Zuntz und seinen Mitarbeitern im Jahre 1901.

Endlich wäre noch die Frage zu entscheiden, ob während eines länger dauernden Aufenthaltes auf dem Gipfel eine Gewöhnung stattfindet oder ob wiederholtes Verweilen in der Hochregion die Größe der Ventilation im Hochgebirge zu beeinflussen vermag. Zuntz und seine Mitarbeiter[2] kommen zum Schlusse, daß es eine ausgesprochene Gewöhnung an das Höhenklima gebe. Sie schreiben: »Mustert man die Zahlen darauf hin, ob die genannten Momente einen Einfluß auf das Ergebnis haben, so drängt sich der Gedanke auf, daß ein häufiger Besuch des Hochgebirges, ebenso wie ein längerer Aufenthalt in ihm eine Gewöhnung herbeiführt, derart, daß die Atmung weniger erregt wird. Dafür spricht die relativ geringeSteigerung, welche Mosso's Bergsoldaten aufweisen, dafür auch das Ergebnis von Marcet's Bergführer Cupelin.

Stellt man die an Zuntz auf drei Expeditionen innerhalb acht Jahren oder die an A. Loewy auf zweien mit einem Zwischenraum von fünf Jahren gewonnenen Zahlen zusammen, so findet man auch hier im Verhalten des Atemvolums Unterschiede zwischen den früheren und späteren Expeditionen

---

[1] Die Versuche sind während der Drucklegung dieses Abschnittes ausgeführt worden, die Temperaturen, bei denen wir unsere Versuche in den Cañadas (entsprechend dem Guajara Marcet's) und in der Alta vista ausführen mußten, waren jenen ganz analog, bei denen wir in der Capanna Margherita und auf Col d'Olen beobachtet hatten. Über die Beobachtungen auf Teneriffa wird an anderem Orte ausführlicher berichtet werden. Über den Einfluß der Temperatur auf das Atemvolum siehe auch bei A. Loewy, Pflüger's Arch., Band 46.

[2] »Höhenklima«, p. 314.

angedeutet. Bei beiden, die zwischen diesen Expeditionen allerdings wiederholt das Hochgebirge besucht hatten, ist eine Art Gewöhnung zustande gekommen. Gewöhnung an das Hochgebirge rückt die Grenze, bei der die Atemsteigerung einsetzt, hinauf.«

Wir können uns dieser Annahme des Bestehens einer allgemein gültigen Gesetzmäßigkeit nicht anschließen. Einerseits darum nicht, weil wir sahen,[1] daß die Methodik sich im Laufe der Jahre ganz wesentlich vervollkommnet hat und weil man sich durch den öfteren Aufenthalt im Hochgebirge anläßlich von Versuchen sehr an das Arbeiten unter diesen Verhältnissen gewöhnt hat, und endlich auch darum, weil die Unterkunftsstätten — dies gilt besonders von der Margherita- und Gnifettihütte — ungleich bequemer geworden sind.

Ist es schon an und für sich nicht wahrscheinlich, daß im allgemeinen ein vorübergehender Aufenthalt im Hochgebirge sich nach Jahren noch in einer Veränderung der Atemmechanik ausdrücken soll, so besagen unsere neuen Versuche, daß wenigstens bei Personen, bei denen die Gewöhnung an das Höhenklima sich ausgesprochen geltend machen müßte, eine solche vollständig fehlen kann. Das Verhalten von Mosso's Soldaten glauben wir nicht als allzusehr beweisend für die Frage ansehen zu sollen. Einerseits weist der eine oder andere von diesen Leuten ganz gewaltige Ventilationssteigerungen auf, so zum Beispiel Camozzi 62·2% in der Capanna Margherita, Jacchini 47·3% in der nur 3047 *m* hoch gelegenen Lintyhütte, andrerseits sehen wir das Minutenvolum an ein und derselben Versuchsperson Mosso's (im Mittelwert!) in derselben Station im Tale und zur selben Tageszeit um 50% schwanken. Wie viel Bedeutung wir den absoluten Zahlen von Marcet aus dem Jahre 1878 beimessen dürfen, besonders in Versuchen an einer Person, die mit dem Geist der Experimente nicht vertraut ist, wissen wir nicht und müssen hiebei besonders an die Art, in der Marcet die Gase aufgefangen und gemessen hat, denken.

Die Wirkung einer nachhaltenden Gewöhnung hätte ganz besonders bei Durig auffallend hervortreten müssen, da er vorerst fast drei Wochen, dann über vier Wochen auf dem Gipfel des Monte Rosa verweilte; auch hätte sich der Einfluß einer Gewöhnung ganz besonders während des Aufenthaltes auf dem Gipfel ausdrücken müssen.

Wie liegen nun die Dinge?

			Zunahme der Ventilation
1903	Durig,	7 Tage auf Col d'Olen	3·1%
1905	»	3 Monate auf der Sporner Alpe . . .	19·4%
1903	»	18 Tage in der Capanna Margherita .	52·9%
1906	»	1 Monat in der Capanna Margherita .	67·2%

Der langdauernde Aufenthalt im Hochgebirge vom Jahre 1903 war demnach auf der Sporner Alpe nicht etwa von einer Abnahme der Ventilation gefolgt, sondern es fand sich dort nunmehr eine Ventilationssteigerung, die früher in dem viel höheren Col d'Olen gefehlt hatte. Durig bringt Jahr für Jahr den Sommer im Hochgebirge zu und kommt in den Sommermonaten kaum jemals unter 1300 *m* Höhe herab und doch war bei ihm im Jahre 1906 die Ventilationssteigerung größer als im Jahre 1903. Die Zunahme fehlte nicht, sondern war ganz besonders groß.

Ähnlich liegen die Verhältnisse bei Kolmer, der ebenfalls einen großen Teil des Sommers im Hochgebirge und auf Touren verbringt. Bei ihm betrug die Ventilationssteigerung im Jahre 1901 auf dem Monte Rosa 26·7%, im Jahre 1906 43% und auch in Alagna war seine Ventilation um 33% gesteigert, während er im Jahre 1901 auf dem Rothorn in einer um 1000 *m* höheren Lage keine Erhöhung des Atemvolums aufgewiesen hatte.

Aber auch während eines langen Aufenthaltes auf dem Monte Rosa-Gipfel selbst fand bei uns keine Anpassung in gesetzmäßiger Form statt.

---

[1] Siehe p. 149 dieses Bandes.

Im Jahre 1903 nahm bei Durig im Verlaufe des Aufenthaltes das Atemvolum etwas zu, im Jahre 1906 nahm es eher etwas ab (siehe Tabelle VIII*a*). Bei Zuntz nahm das Atemvolum vom ersten Gipfelaufenthaltstage an bei unseren gemeinsamen Versuchen (1903) im Verlaufe von 12 Tagen etwas zu, jedenfalls aber um keinen Betrag, der die gewöhnliche Breite der Schwankungen im Minutenvolum übersteigt (7·61 *l* am Beginn gegen 7·90 *l* am Schluß). Gerade der Umstand, daß beim ersten, länger dauernden Aufenthalt in so großer Höhe wie auf dem Monte-Rosa-Gipfel eher eine Zunahme als eine Abnahme des Atemvolums zustande kommt, spricht gegen die Annahme, daß eine gesetzmäßige Gewöhnung in dem Sinne sich ausbildet, daß das Atemvolum bei dem ans Hochgebirge Akklimatisierten sich erst in größerer Höhe steigert und daß beim Gewöhnten die Zunahme des Minutenvolums fehlt oder geringer ausfällt.

Der Sporner-Alp-Versuch, der nach dem ersten, langen Monte-Rosa-Aufenthalt von großer Volumsteigerung begleitet war, beweist ja auch, daß wenigstens bei der einen Person gerade das Gegenteil eingetreten war.

Auch bei Kolmer, Rainer, Reichel hat das beobachtete Minutenvolum auf dem Monte Rosa während der ganzen Dauer des Aufenthaltes keinerlei Veränderung erfahren, welche die normalen Schwankungen wesentlich übersteigen würde. Es hat sich also einheitlich bei uns allen, inbegriffen die Versuche vom Jahre 1903 an Zuntz und Durig, dasselbe Verhalten gezeigt, es ist bei keinem eine Veränderung des Atemvolums in Form einer Anpassung an die Wirkung der klimatischen Faktoren erfolgt. Bemerkenswert scheint die Tatsache, daß Zuntz unter den Erscheinungen schwerer Dyspnoe auf dem Gipfel anlangte, sich dort aber wohl fühlte; daß Kolmer auf dem Gipfel dauernd bergkrank war, während wir übrigen uns sehr wohl befanden. Kolmer und Rainer waren vor dem Aufstieg für den Aufenthalt in größeren Höhen trainiert, Durig und Reichel trafen möglichst unvermittelt und untrainiert auf dem Gipfel ein. Am Schlusse der Gipfelversuche waren wir alle durch die Touren, die wir anläßlich der Versuchsmärsche ausführten, in vollem Training. Dennoch war dies ohne Einfluß auf das pro Minute in Körperruhe ventilierte Volum.

Es wäre noch der Beobachtungen von Fuchs über das Minutenvolum zu gedenken, die nach den unseren auf dem Monte Rosa ausgeführt wurden. Fuchs fand auf Col d'Olen eine Atemvolumsteigerung, die anfänglich ungefähr ebenso hoch war (24 %) wie jene bei Durig auf der Sporner Alpe, sich aber während des Aufenthaltes etwas verminderte. In der Capanna Margherita wurde keine weitere Steigerung des Atemvolums mehr beobachtet, nur an einem Tage fand Fuchs einen ganz ungewöhnlich hohen Wert; aus der Publikation sind jedoch die Einzelnversuche nicht zu entnehmen, wir finden nur, daß die Werte um 21·5 % differierten.

Dieselbe Beobachtung daß bei manchen Personen anscheinend eine Steigerung des Atemvolums in geringerer Höhe stattfindet, während in größerer Höhe kein weiterer Zuwachs des Minutenvolums mehr erfolgt, wurde übrigens schon von Marcet im Jahre 1878 gemacht und nachher auch von anderen Autoren bestätigt. Es muß vorläufig dahingestellt bleiben, ob man es hiebei mit einem tatsächlichen Verhalten oder nur mit einem solchen zu tun hat, das durch die Versuchsbedingungen herbeigeführt wurde. Sollte sich diese interessante Erfahrung bestätigen, so wäre ein neuer Beweis für die großen individuellen Schwankungen gegeben, die in der Wirkung des Höhenklimas auf die einzelnen Versuchspersonen bestehen.

Fuchs glaubt in den beim Abstieg gefundenen Werten für das Minutenvolum ein besonders klares Bild über die Höhenwirkung zu erblicken. Wir möchten dem nicht zustimmen. Wenn sich, wie er annimmt, eine Anpassung an die klimatischen Reize schon in weniger als 3000 *m* Höhe ausbilden sollte, so müßte sich die Nachwirkung des vorangegangenen Höhenaufenthaltes in noch größerer Höhe als zweite Komponente geltend machen, neben jener Wirkung die rein durch die örtliche Lage der im Abstieg berührten Versuchsstation bedingt ist. Bezüglich der Versuche im Abstieg sei erwähnt, daß bei Fuchs die Minutenvolumina auf Col d'Olen noch immer wesentlich gesteigert waren, aber niederer lagen als in der Margheritahütte. In Alagna wurde ein höherer Wert für das Minutenvolum gefunden als nachher in-

Erlangen, was besagen würde, daß bei Fuchs in 1190 *m* Höhe bereits eine Ventilationssteigerung um 12% bestanden hätte, ein Resultat, das mit jenem, das an Durig auf dem Semmering gewonnen wurde, in Übereinstimmung zu bringen wäre.

Die theoretischen und vermutungsweisen Betrachtungen, die Fuchs in seiner Abhandlung anstellt, fußen viel zu sehr auf seinen eigenen, im Verhältnis zum Gesamtmateriale doch recht spärlichen Resultaten. Fuchs glaubt zum Beispiel, daß die Abnahme des Atemvolums zwischen der Periode in Erlangen vor dem Aufstieg und nach der Rückkehr nicht so sehr in der sich ausbildenden größeren Übung, sondern im Verhalten der Blutkörperchenzahl und des Sauerstoffbindungsvermögens des Blutes bedingt sei. Es ist aber wohl durch nichts gerechtfertigt, wenn Fuchs auch hier wieder sofort eine Gesetzmäßigkeit und eine Erklärung der Verhältnisse zur Hand hat und sagt, »die Erklärung der Abnahme des Atemvolums in Erlangen II ist ohne weiteres gegeben, wenn wir die Zahl der roten Blutkörperchen und dem Hämoglobingehalt ... berücksichtigen... Mit der Zunahme des Sauerstoffes im Blut wird aber die Intensität des Atmungsreizes vermindert und so erklärt sich ungezwungen die Verminderung des Atemvolumes an gleichen Orten nach der Rückkehr aus größeren Höhen. Auch das allmähliche Zurückgehen der Atemvolumina in gleicher Höhenlage bei längerem Aufenthalt daselbst ist auf dieselbe Ursache zurückzuführen, weil die erforderlichen Akklimatisationsänderungen des Blutes sich nicht sofort, sondern erst allmählich in ausreichendem Maße einstellen.« Wir können uns dieser Auffassung keinesfalls anschließen. Es ist eine bekannte Tatsache, daß geringe Schwankungen im Sauerstoffgehalt oder im Sauerstoffbindungsvermögen des Blutes in der Ebene — darum handelt es sich ja bei den Versuchen von Fuchs in Erlangen — ohne irgend welchen Einfluß auf die Atmung sind. Insolange Sauerstoffmangel nicht besteht, ist, wie durch zahlreiche Versuche der verschiedensten Autoren[1] erwiesen, ist der Kohlensäuregehalt des Blutes der einzig auschlaggebende Faktor, der die Größe des Atemvolums reguliert.

Anders liegen natürlich die Verhältnisse im Hochgebirge. Hier könnte die Erklärung, die Fuchs auf Grund seiner Beobachtungen aufstellt, Geltung haben. Je weiter man im Hochgebirge aufsteigt, um so ausgesprochener macht sich das Absinken des Teildruckes des Sauerstoffes bemerkbar. Es ist aber keinesfalls zulässig, das Atemvolum gerade für die Höhe der Sauerstoffversorgung verantwortlich zu machen, denn dieses ist noch lange kein Kriterium für die Güte der Sauerstoffversorgung. Wir verweisen hinsichtlich dessen auf den später noch zu diskutierenden Marschversuch an Rainer in Wien im Winter, bei dem trotz sehr hoch liegender Ventilationsgröße die Sauerstoffversorgung ungünstiger gewesen sein muß als auf dem Monte Rosa. Es kommt eben bei der Sauerstoffversorgung jedenfalls zu einem großen Teil auf die alveolare Spannung an und diese wird außer durch den Gesamtdruck durch den Prozentgehalt der Lungenluft bedingt, der seinerseits wieder von der Tiefe und Frequenz der Atemzüge ganz wesentlich beeinflußt wird. Gewiß kann die Veränderung im Sauerstoffbindungsvermögen des Blutes einen Einfluß auf die Höhe des Atemvolums ausüben; dieser Einfluß ist aber derzeit noch auf keinen Fall als allgemein gültig erwiesen zu betrachten, denn das Fehlen einer Anpassung der Ventilation im Hochgebirge bei den allermeisten bisher untersuchten Personen spricht nicht zugunsten einer Gesetzmäßigkeit, wie sie Fuchs annimmt.

Im Hochgebirge dürften übrigens auch noch andere Reize[2] als die durch den Gasgehalt des Blutes übermittelten die Minutenvolumina beeinflussen und wir können wohl als sicher annehmen, daß es Faktoren gibt, die wir derzeit noch nicht erkennen können, welche zu einer Steigerung der Minutenvolumina führen, die nach einer Gewöhnung an diese Reize wieder verschwindet. In diesem Sinne sprechen die Versuche von Loewy und Müller auf Sylt[3] wie die Beobachtungen, die Zuntz und Durig auf dem Dache der Capanna Margherita im warmen Sonnenschein ausgeführt haben.[4] Sicherlich bestehen auch

---

[1] Man denke an die Arbeiten von Zuntz und Loewy, sowie jene von Haldane und seinen Schülern.

[2] Zum Beispiel: Insolation, siehe die Versuche von Hasselbalch über die Ausbildung des Erythems bei Belichtung.

[3] Pflüger's Arch., Bd. 103.

[4] Arch. für Anat. und Physiologie, 1904, Suppl.

diesen Wirkungen gegenüber individuelle Verschiedenheiten und es wird hinlänglich frühe genug sein, an die Erklärung der Erscheinungen und den Aufbau von Theorien über die Nachwirkung des Höhenaufenthaltes zu gehen, wenn ein wesentlich größeres, einwandfreies Material vorliegt.

Bisher sind nur wenige Versuchsreihen über die Nachwirkung des Höhenaufenthaltes vorhanden, das sind die Selbstbeobachtungen von Fuchs auf Col d'Olen, vor und nach dem Aufenthalte auf dem Monte-Rosa-Gipfel, ferner die Versuche von Reichel und Durig vor und nach dem Aufenthalte auf dem Semmering und endlich die Beobachtungen an den Teilnehmern der Expedition des Jahres 1901 in Brienz im Anschlusse an Versuche auf dem Rothorn.[1]

Auch der Experimente von Vallot sei hier noch gedacht, der viermal je 12 Tage auf dem Montblanc weilte und jedesmal nach dem Abstieg vom Gipfel im Tal dieselben Atemvolumina wie vor dem Aufstieg beobachtete. Die Resultate der Hochgebirgsversuche lauten also hinsichtlich des Verhaltens des Atemvolums nach der Rückkehr aus dem Höhenklima noch ganz widersprechend; es wurde eine Zunahme, eine Abnahme und ein Konstantbleiben des Atemvolums beobachtet, es ist also von einer gesetzmäßigen Veränderung der Atmung keine Rede. Noch viel weniger unterrichtet sind wir aber über das Verhalten des Sauerstoffbindungsvermögens des Blutes.[2]

Das reduzierte Minutenvolum.

Von den zahlreichen Beobachtungen über das Atemvolum in verschiedenen Höhen sind es nur ganz wenige, bei denen die Steigerung des Minutenvolums so groß war, daß die wirklich geatmete Luftmenge in der Höhenstation gleich groß oder sogar größer war als jene in der Ebene. Es ist also in den allermeisten Fällen durch die Steigerung der Ventilation keine Kompensation für die Verminderung des Sauerstoffgehaltes der Luft infolge des Absinkens des Luftdruckes erfolgt. Eine Steigerung über den Wert aus der Talstation finden wir nur bei Camozzi in der Margheritahütte und werden dieser nicht zu große Bedeutung beilegen. Bei Loewy fand sich eine solches Verhalten in Col d'Olen und in der Gnifettihütte, bei L. Zuntz in der Gnifettihütte, das Ausmaß der Zunahme liegt aber an der Grenze natürlicher Schwankungen. Der Versuch von L. Zuntz in der Margheritahütte kann, da er kein reiner Ruheversuch ist, entfallen. Die von Veragut in St. Moritz beobachtete Steigerung ist keinesfalls als einwandfrei erwiesen anzusehen, es wären demnach nur noch einige Beobachtungen von Kuss zu erwähnen, bei denen in Chamonix eine Zunahme des reduzierten Volums beobachtet wurde; auch diese können wir als nicht sicher fundiert erachten, dagegen ist die Zunahme bei Durig auf dem Semmering wohl kaum zu bezweifeln.

Das Ausmaß, in dem das reduzierte Minutenvolum in einer Höhenstation hinter jenem der Ebene zurückbleibt, ist ein ungemein verschiedenes, ja man kann nicht einmal sagen, daß dieses Zurückbleiben in geringerer Höhe im allgemeinen weniger ausgesprochen ist als in größerer. Die größte Verminderung betrug 40%. In unseren neuen Versuchen vom Jahre 1906 war bei Durig durch die Ventilationssteigerung auf dem Monte Rosa ungefähr eine Kompensation der Druckverminderung herbeigeführt worden, wogegen im Jahre 1903 der Wert für das reduzierte Volum ganz bedeutend hinter jenem in der Ebene zurückgeblieben war. Seit dem ersten Monte Rosa-Aufenthalt war bei ihm überhaupt in keiner Station das reduzierte Minutenvolum unter den Normalwert in der Ebene gesunken. Auch Reichel hat auf dem Monte Rosa das Absinken des Druckes durch die Steigerung des Atemvolums kompensiert, während dies

---

[1] Unsere Versuche, die nach der Rückkehr vom Monte Rosa-Gipfel in Alagna ausgeführt wurden, sind für eine einwandfreie Diskusion nicht zu verwerten, da die zugehörigen Beobachtungen, die vor dem Aufstieg auf den Gipfel hätten gemacht werden müssen, in Befolgung des übrigen Versuchsplanes nicht ausgeführt werden konnten.

[2] Die während unseres Aufenthaltes auf Teneriffa und auf der Alta Vista von Barcroft durchgeführten Beobachtungen über das Sauerstoffbindungsvermögen, welche derzeit aber noch nicht vorliegen, versprechen wertvolle Ergebnisse. An dieser Stelle sei auch der von Zuntz in seinem und meinem Blute dort ausgeführten Alkaleszenzbestimmungen gedacht, die sich auch auf die Wirkung forcierter Märsche (Durig) auf die Blutalkaleszenz erstrecken.

bei Rainer und Kolmer nicht der Fall war. Letztere beiden zeigen eine Verminderung des reduzierten Volums um 15 bis 24%, also in einem Ausmaße, wie es vielfach bei anderen Personen auf dem Monte Rosa beobachtet wurde. Die lange Dauer des Aufenthaltes auf dem Gipfel hat an dem bei uns vieren so verschiedenen Verhalten nichts geändert. Merkwürdig ist, daß Durig und Kolmer, die sich so verschieden verhielten, schon früher auf dem Monte Rosa expèrimentiert hatten. Aber auch bei Rainer und Reichel, die vorher nie in solchen Höhen gewesen waren, sind die Veränderungen in der Atemmechanik nicht gleichartig.

Bei Fuchs war das reduzierte Volum in Alagna, auf Col d'Olen wie in der Capanna Margherita hinter dem Wert, der bei ihm für die Ebene giltig ist, zurückgeblieben, und zwar sowohl während des Aufstieges wie auch während des Abstieges. Schlüsse auf die Ausbildung einer Akklimatisation können daraus wohl nicht gezogen werden, und man wird nur sagen können, daß er jener Gruppe von Menschen angehört, bei denen eine Kompensation der Luftdruckverminderung durch Überventilation nicht eintritt. Es ist nach dem Verhalten Durig's im Jahre 1903 und 1906 ja auch keineswegs ausgeschlossen, daß die Ergebnisse, die Fuchs anläßlich seines neuerlichen Aufenthaltes auf dem Gipfel fand, lehren werden, daß er sich nunmehr ähnlich verhalten habe wie Durig und Reichel im Jahre 1906, also so stark ventiliert habe, daß das reduzierte Minutenvolum mit jenem in der Ebene übereinstimmt.

Hinsichtlich der »Luxusatmung« in Körperruhe kann demnach festgestellt werden, daß es Personen gibt, bei denen die Annahme einer «Luxusatmung« sicher nicht berechtigt ist, da deren Verhalten in größeren Höhen geradezu im Gegenteil dafür spricht, daß ihr Körper bestrebt war, dem Absinken des Luftdruckes durch Steigerung der Ventilation in vollem Umfange zu begegnen. Nochmals sei übrigens darauf hingewiesen, daß das entscheidende Moment für die Kompensation oder Nichtkompensation weder allein in dem Minutenvolum noch in der Atemtiefe, sondern in der Kombination von Atemtiefe und Minutenvolum gelegen ist, wie die Darlegungen über die alveolare Tension beweisen sollen. Es ist auch ganz gut denkbar, daß es Menschen gibt, die bestrebt sind, durch Vertiefung der Atemzüge dem Absinken der alveolären Sauerstoffspannung zu steuern, während andere besonders das Minutenvolum zu erhöhen trachten. Interessant sind in der Hinsicht die Beobachtungen von Vallot, die er an sich und an einer zweiten Versuchsperson auf dem Montblanc anstellte.[1] Bei beiden stellte sich am Beginne des Höhenaufenthaltes[2] neben unzureichender Vergrößerung des beobachteten Minutenvolums eine gewiß unzweckmäßige Vermehrung der Atemzüge ein, während zum Schlusse des Aufenthaltes die Atemzüge vertieft wurden und das beobachtete Minutenvolum so gesteigert war, daß es sich schon dem Wert für das reduzierte Minutenvolum, wie es in der Ebene beobachtet wurde, wesentlich näherte. Wir begegnen also bei Vallot einer neuen Form der Anpassung, die sonst bei niemand beobachtet wurde, nämlich einer ganz gewaltigen Steigerung des Atemvolums im Verlaufe eines relativ kurzen Höhenaufenthaltes[3] zugleich mit zunehmender Vertiefung der Atmung.

Das Minutenvolum bei der Arbeit.

Analog wie anläßlich der Besprechung der Atemmechanik bei der Arbeit auf den früheren Seiten, muß auch bei der Beurteilung des Atemvolums bei der Körperarbeit dadurch eine gemeinsame Basis geschaffen werden, daß man nur Versuche, bei denen die Leistung in verschiedenen Höhen eine gleich große war, in Parallele stellt oder besser noch das pro Minute geatmete Volum auf die Arbeitseinheit bezieht. Letzteres kann in zweierlei Weise geschehen. Entweder verfährt man nach dem von Loewy zuerst angegebenen Prinzip, indem man von der pro Minute bei einer Arbeit ventilierten Gasmenge das »Ruhe-Minutenvolum« abzieht und so den Arbeitsgaswechsel vom Ruhegaswechsel trennt. Nach den-

---

1 Comptes rendus, 137, p. 1284.

2 Es handelt sich um viermaligen 12tägigen Aufenthalt.

3 Während der ersten sechs Tage war das Atemvolum nahezu auf konstanter Höhe geblieben und erst vom 7. Tage an nahm dieses mit jedem Tage mächtig zu.

selben Überlegungen wie bei der Berechnung des Umsatzes bei der Arbeit läßt sich dann die Ventilation pro Meter und Kilogramm Horizontalbewegung berechnen und bei der Steigarbeit die Ventilation für das Meterkilogramm Steigarbeit feststellen, wenn man die der Horizontalkomponente entsprechende Ventilation in Abstrich bringt. Oder man schlägt einen einfacheren Weg ein und berechnet durch Division der Gesamtventilation durch das Produkt Weg mal Gewicht oder Steigung mal Gewicht die Ventilationsgröße für die Einheit der Horizontalbewegung oder der Steigarbeit.

Für unsere eigenen Versuche haben wir letzterem Verfahren der Einfachheit halber teilweise den Vorzug gegeben, da bei beiden Verfahren Unsicherheiten nicht zu umgehen sind. Wir können sicher nicht voraussetzen, daß sich die Ventilationsgrößen etwa so wie die Größen des Umsatzes bei Ruhe, Horizontalmarsch und Steigerungsmarsch addieren und müssen vielmehr annehmen, daß die Reize auf das Atemzentrum bei Muskelarbeit, insbesondere aber bei Muskelarbeit im Hochgebirge sich nicht einfach arithmetisch summieren, wie wenn es sich um gleichartige Größen handeln würde. Wir wissen zum Beispiel nicht, ob die beim Horizontalmarsch[1] eintretende Steigerung der Ventilation wirklich für die Horizontalbewegung bei der Steigarbeit noch zustande kommt.

Der Zweck der Ventilationssteigerung bei der Arbeit und der Grund, warum sich das Ansprechen des Atemzentrums auf die Reizung durch Kohlensäure, beziehungsweise auf Abbauprodukte ausgebildet hat, ist doch nur der, die Menge der schädlich wirkenden Kohlensäure, beziehungsweise der Abbauprodukte zu verringern und für deren Entfernung zu sorgen. Inwieweit dies erreicht wird, dafür kann nur der Erfolg der Gesamtventilation ausschlaggebend sein, die in der Größe des reduzierten Minutenvolums zum Ausdruck kommt, weshalb eine gewisse Berechtigung dafür besteht, das Verhältnis zwischen der Gesamtventilation und der Arbeit ins Auge zu fassen. Hinsichtlich der Leistung der Atemmuskulatur wird aber die Größe der unreduzierten Minutenventilation den einzig richtigen Einblick geben. Vergleichbar bleiben nach diesem Prinzip allerdings nur jene Versuche, die auf ähnlichen Wegen ausgeführt wurden und in denen die Arbeit annähernd gleich groß war. Überblicken wir die aus der Literatur vorliegenden Ergebnisse.

Von A. Loewy, J. Loewy und L. Zuntz wurden bestimmt:

Für den Horizontalmarsch in Berlin und Col d'Olen eine Ventilation pro Meter und Kilogramm ausgedrückt in Kubikzentimetern.[2]

	Berlin	Col d'Olen
A. Loewy	2·55	2·62
J. Loewy	2·77	3·37
L. Zuntz	3·24	2·14.

Es ergibt sich daraus, daß bei Loewy die Ventilation auf Col d'Olen beim Horizontalmarsch annähernd dieselbe war wie in Berlin, bei J. Loewy war sie etwa im selben Ausmaße gesteigert, wie sie bei Zuntz gesunken war.

Einheitlich bei allen war aber das Atemvolum für das Meterkilogramm Steigarbeit in der Höhe gesteigert.[3]

	Berlin	Col d'Olen	Gnifettihütte
A. Loewy . .	26·86	38·17	55·20
J. Loewy . .	25·35	34·06	39·41
L. Zuntz . . .	17·91	38·05	40·11.

1 Das Verhalten der Atmung beim Horizontalmarsch bei so langsamem Marschtempo wie beim Steigen wurde bisher gar nicht untersucht. Die Verhältnisse liegen hier analog wie bei der Feststellung der »Leerlaufarbeit« für das Gehen auf ebener oder ansteigender Bahn.

2 Die Werte sind unter Abzug des Ruhewertes berechnet und bedeuten nichtreduziertes Volum.

3 Berechnet unter Abzug der Ruheventilation und der Ventilation beim Horizontalmarsche.

Diese Steigerung der Ventilation bei der Arbeit war schon von Marcet beobachtet worden, was um so auffallender ist, als die Arbeit, die er und sein Führer leisteten, eine sehr kleine war. [1]

Marcet fand bei gleich großer Arbeit an seinen Rocking-boards folgende Mittelwerte in Litern:

	unreduziert	reduziert
Puerto	13·60	12·36
Guajara	17·67	12·60
Alta Vista	15·14	9·72,

während Cupelin bei gleich großer Arbeit folgende Mittelwerte in Litern zeigte:

	unreduziert	reduziert
Puerto	15·88	14·44
Guajara	18·43	13·14
Alta Vista	22·06	14·27.

Hiebei ist bemerkenswert, daß Cupelin durch die Steigerung der Ventilation den Druckabfall kompensierte, während Marcet nur auf dem Guajara, nicht mehr aber auf der Alta Vista durch Erhöhung des Minutenvolums die Wirkung der Verminderung des Druckabfalles ausglich.

Meßbare Arbeit leisteten auch Zuntz und seine Mitarbeiter bei ihren Beobachtungen im Jahre 1901. Horizontalmärsche führten sie zwar nur in Berlin aus, auch fehlen die Kontrollversuche auf Schnee zum Vergleiche mit den Beobachtungen auf dem Gletscher, dagegen liegen aber einwandfreie Beobachtungen über die Ventilation bei der Steigarbeit von Berlin, Brienz und dem Rothorn vor. Es ergaben sich unter Zugrundelegung der Ventilation beim Horizontalmarsch in Berlin folgende Ventilationsgrößen für die Leistung von einem Meterkilogramm Steigarbeit in Kubikzentimetern:

	Waldenburg	Kolmer	Caspari	Müller	Loewy	Zuntz
Berlin	26	19	19	25	15	20
Brienz	27	28	27	34	33	22
Rothorn	29	28	34	38	35	48
Brienz, nach dem Aufenthalte auf dem Rothorn	—	22	—	25	—	—

Die Versuchspersonen wiesen demnach schon in Brienz eine Steigerung der Ventilation auf, die mit Ausnahme von Kolmer auf dem Rothorn noch wesentlich zunahm; nach dem Abstieg ventilierten Kolmer und Müller in Brienz aber weniger als vor dem Aufstieg. Die Tatsache ist bemerkenswert, berechtigt aber noch zu keinen weiteren Schlüssen, denn daß es eine Gewöhnung an das Hochgebirge sein soll, die zu einer Verminderung der Ventilation führt, wie die Verfasser annehmen, ist wohl möglich, aber darum nicht sehr wahrscheinlich, weil gerade gewöhnte Personen anscheinend ausgiebiger ventilieren dürften als ungewöhnte. Hiefür würden Cupelin wie auch wir Beispiele liefern, die aber keinesfalls besagen, daß es nicht auch berggewohnte Menschen gibt, die eine Anpassung zeigen, deren Ausdruck eine Ventilationsverminderung ist.[2] Berechnet man aus den Versuchen von Zuntz und seinen Mitarbeitern die Ventilation bei Leistung eines Meterkilogrammes Steigarbeit,[3] indem man das an zweiter Stelle angeführte Rechenverfahren wählt und das Verhalten der reduzierten Volumina berücksichtigt, so gelangt man zu den folgenden Werten in Kubikzentimetern (reduziertes Volum).

---

[1] Siehe oben, p. 25 [373],

[2] Ebenso kann bei den ungewohnten Personen, besonders wenn deren Herz weniger leistungsfähig ist, eine anfängliche starke Überventilation sich im Gefolge von Training und Kräftigung des Herzmuskels vermindern; ein Beispiel dafür würde das Verhalten von Zuntz auf dem Rothorn liefern.

[3] Nicht für Leistung eines Meterkilogrammes.

	Waldenburg	Kolmer	Caspari	Müller	Loewy	Zuntz
Berlin	—	42	—	35	—	—
Brienz . . .	39	38	37	40	39	34
Rothorn . . .	32	34	38	39	42	42

Bei Waldenburg und Kolmer hat die Erhöhung der Ventilation in der Höhenstation trotzdem zur Förderung einer geringeren Luftmenge geführt als in der Ebene, während Caspari, Müller und Loewy die Ventilation annähernd so stark steigerten, daß die reduzierten Volumina, die bei Leistung eines Meterkilograms Arbeit geatmet wurden, annähernd konstant blieben. Zuntz hat als einziger sehr stark überventiliert. Wir begegnen also wie so oft bei Besprechung der Verhältnisse der Atemmechanik der vieldeutigsten Mannigfaltigkeit, Zunahme, Abnahme und Konstantbleiben, sind fast in gleichem Ausmaße auf die Versuchspersonen verteilt. Zu erwähnen wäre, daß nur die Beobachtungen bei 25% Steigung berücksichtigt wurden.

X*a*. Ventilation beim Horizontalmarsch (Durig).

Ort	Meter Weges pro Minute	Pro Meter und Kilogramm Horizontalbewegung geatmet cm^3			
		beobachtet	reduziert	nach Abzug des Ruhewertes	
				beobachtet	reduziert
Wien	72·3	3·23	2·95	2·10	2·03
	83·8	3·02	2·76	2·04	1·98
	102·3	2·90	2·68	2·06	1·99
	116·6	3·17	2·88	2·40	2·32
	126·0	3·72	3·39	2·96	2·87
	141·8	4·36	3·96	3·65	3·55
	152·5	4·59	4·19	3·91	3·80
Semmering	100·7	3·32	2·76	2·32	2·00
	102·1	3·59	3·30	2·67	2·30
	103·2	3·39	2·95	2·35	2·02
	105·4	3·32	2·97	2·43	2·11
	110·3	3·17	2·67	2·26	1·94

X*b*. Ventilation beim Horizontalmarsch (Reichel).

Ort	Meter Weges pro Minute	Pro Meter und Kilogramm Horizontalbewegung geatmet cm^3			
		beobachtet	reduziert	nach Abzug des Ruhewertes	
				beobachtet	reduziert
Wien	75·9	2·83	2·47	2·14	2·07
	94·8	2·81	2·47	2·08	2·01
	95·2	2·85	2·50	2·09	2·02
	96·4	2·99	2·63	2·24	2·16
	100·8	2·88	2·53	2·19	2·12
Semmering	93·4	2 82	2·45	2·05	1·75
	99·1	2·69	2·34	1·95	1·65
	103·5	3·08	2·75	2·34	2·02

Xc. Ventilation beim Horizontalmarsch (Kolmer u. Rainer) (Wien).

Name	Meter Weges pro Minute	Pro Meter und Kilogramm Horizontalbewegung geatmet cm^3			Name	Meter Weges pro Minute	Pro Meter und Kilogramm Horizontalbewegung geatmet cm^3		
		beobachtet	reduziert	nach Abzug des Ruhewertes			beobachtet	reduziert	nach Abzug des Ruhewertes
Kolmer	49·2	4·11	3·77	2·59	Rainer	47·2	3·95	3·43	2·03
	62·4	4·30	3·94	3·06		76·9	3·29	2·85	2·12
	67·0	3·37	3·11	2·22		88·8	3·14	2·77	1·97
	69·2	3·15	2·90	2·09		90·8	3·17	2·73	2·07
	100·4	4·44	3·97	3·68		115·8	3·46	2·95	2·75
	104·6	4·14	3·82	3·44		129·5	3·53	3·06	2·95

In den voranstehenden Tabellen sind die bei uns während der Horizontalmärsche gewonnenen Resultate eingetragen. Die Methode der Berechnung ist eine doppelte. In der dritten und vierten Kolumne ist der Ruheverbrauch nicht abgezogen, so daß die Ventilationsgrößen ein Ausdruck der gesamten, während der Leistung bestimmter Arbeit geförderten Luftmenge sind; in der folgenden Kolumne sind die Werte unter Abzug des Ruheverbrauches berechnet. Tabelle X*a* zeigt, daß bei Durig in der Ebene, insolange die Geschwindigkeit beim Marsch nicht exzessiv gesteigert wird, keine nennenswerte Zunahme des pro Meter und Kilogramm geatmeten Volums beobachtet wurde, dagegen war das Volum bei sehr großen Geschwindigkeiten ausgesprochen erhöht. Rainer führte ebenfalls einen Marsch in sehr raschem Tempo aus, bei ihm tritt aber die Vermehrung der Ventilation nicht so ausgesprochen hervor; jedenfalls sieht man aber bei Durig wie bei Rainer, daß hinsichtlich des Verhaltens des Atemvolums eine ähnliche Gesetzmäßigkeit erkennbar ist, wie sie sich bei den Betrachtungen über den Umsatz beim Horizontalmarsch zu ergeben schien. Bei sehr langsamem Marschtempo war in allen vorliegenden Versuchen auf Grund der Berechnung ohne Abzug der Ruheventilation eine Überventilation ausgesprochen, die Zahlen täuschen aber nur ein nicht den Tatsachen entsprechendes Verhalten vor, denn es muß auf Grund der bestehenden Ruheventilation der Wert für die Atmung beim Horizontalmarsch umsomehr in den Vordergrund treten, je geringer die in der Zeiteinheit geleistete Arbeit ist; wie oben erwähnt können bei der vereinfachten Berechnung nur gleichartiger Versuche in Parallele gestellt werden.

Für optimale Geschwindigkeiten liegen die reduzierten Ventilationsgrößen bei uns allen in annähernd gleicher Höhe. Es fanden sich bei der Fortbewegung von 1 *kg* entlang einen Meter Weges bei

Durig . . . . 2·7 cm^3
Reichel . . . . 2·8
Rainer . . . . 3·1
Kolmer . . . . 3·2

(Gesamt-)Ventilation, wenn wir die nächstgelegenen Werte auslesen.

Über den Einfluß des Höhenklimas auf die Ventilation beim Horizontalmarsch geben allein die Semmeringversuche einwandfreien Aufschluß. Sie sind mit den Wiener Versuchen unbedingt vergleichbar, weil sie bei ähnlicher Temperatur und gleicher Bodenbeschaffenheit ausgeführt wurden, während die oben angeführten Versuche von Loewy und seinen Mitarbeitern diesen Forderungen nicht gerecht

werden können. Wie Tabelle X*a* und X*b* beweist, ist bei gleichen Geschwindigkeiten bei Durig die beobachtete Ventilation auf dem Semmering größer gewesen als in Wien, dagegen fallen die Werte für das reduzierte Volumen, das pro Meter und Kilogramm geatmet wurde, ganz mit jenen, die in Wien beobachtet wurden, zusammen. Die Volumsverminderung infolge des niederen Luftdruckes wurde also bei Durig durch die Ventilationssteigerung kompensiert. Die Versuche, die an mir im Jahre 1903 von Zuntz auf dem Monte Rosa ausgeführt wurden, liefern ein Ergebnis, das mit demjenigen vom Semmering sehr wohl in Einklang zu bringen ist. Damals wurde bei mir in Wien ein etwas niederer Wert für die Ventilation gefunden als im Jahre 1907, doch ist die Abweichung keineswegs sehr beträchtlich; es wurden von Durig damals geatmet pro Meter und Kilogramm Horizontalbewegung (Gesamtventilation):

	unreduziert	reduziert
Wien 150 *m*	2·62	2·52
Col d'Olen 2856 *m*	3·77	2·45
Capanna Margherita 4560 *m*	5·40	2·94

Während auf Col d'Olen und auf der Margherita der Luftdruck zu niederen Werten abgesunken ist, hat sich die Ventilation um einen entsprechenden Betrag erhöht, sie ist zumeist in der Capanna Margherita sogar bis auf das Doppelte gestiegen. Der dort gefundene Wert ist jedenfalls etwas zu hoch und näherte sich bei reinen Versuchsbedingungen sicherlich noch mehr dem Wiener Werte. Wie bereits oben erwähnt wurde, war das Marschieren in der Margheritahütte durchaus kein so unbehindertes wie in freiem Terrain. Bei Reichel ist die Erhöhung des unreduzierten Volumens auf dem Semmering nicht zu beobachten gewesen.

Die nachstehenden Tabellen sollen das Verhalten der Ventilation bei unseren Versuchen über die Steigarbeit illustrieren.

XI*a*. Ventilation bei der Steigarbeit (Durig).

Ort	Steigarbeit *mkg* (Mittel)	Ventilation pro *mkg* Steigarbeit cm^3		Bemerkung
		beobachtet	reduziert	
Wien 150 *m*	934·3	52·0	46·8	Sommer auf festem Weg
Bilkengrat 1790 *m*	620·5	62·0	47·0	untrainiert (auf festem Weg)
1960 *m*	634·6	62·5	45·7	
2240 *m*	651·6	64·2	44·9	
2440 *m*	664·2	68·7	46·8	
Bilkengrat 1790 *m*	926·1	54·6	41·5	trainiert (auf festem Weg)
1960 *m*	920·4	55·2	40·9	
2240 *m*	886·8	58·5	42·2	
2440 *m*	921·2	58·7	41·6	
Wien 150 *m*	666·1	52·4	50·8	Winter auf Schnee
Monte Rosa 4560 *m*	524·1	104·2	59·0	auf Schnee

XI*b*. Ventilation bei der Steigarbeit (Kolmer, Rainer, Reichel).

Ort	Steigarbeit *mkg* (Mittel)	Ventilation pro *mkg* Steigarbeit cm^3		Bemerkung
		beobachtet	reduziert	
Kolmer				
Wien	698·7	59·4	52·8	Sommer (auf festen (Weg)
»	783·7	62·5	60·6	Winter (auf Schnee)
Monte Rosa	469·4	101·7	57·5	Nr. 149, 150 u. 151
»	496·3	134·4	75·8	Nr. 169, 170 u. 171
Rainer				
Wien	759·1	46·2	40·6	Sommer (auf festem Weg)
»	586·9	54·9	53·3	Winter (auf Schnee)
Monte Rosa	474·8	98·3	54·3	auf Schnee
Reichel				
Wien	1053·1	46·2	41·2	Sommer (auf festem Weg)
»	855·7	51·5	49·0	auf Schnee
Monte Rosa	475·5	109·6	59·8	auf Schnee

Überblickt man die an Durig auf festem Boden angestellten Beobachtungen und vergleicht sie mit jenen, die in Wien und auf dem Bilkengrat ausgeführt wurden, so ergibt sich, daß ganz systematisch mit dem Vordringen in größere Höhe die Ventilation gesteigert wurde, wobei als Resultat eine Konstanz des pro Meterkilogramm Steigarbeit geatmeten aber reduzierten Volums resultierte. Diese vor nunmehr fünf Jahren an mir angestellten Versuche, in denen damals die Atemmechanik ganz unberücksichtigt geblieben war, führen also erfreulicherweise an der Hand der bereits damals in den Tabellen über die Alveolartension veröffentlichten Zahlen zu genau demselben Ergebnisse wie die vor 7 Jahren von Zuntz an mir ausgeführten Versuche beim Horizontalmarsch, bei denen ebenfalls die Atemmechanik in der Publikation unberücksichtigt geblieben war.

Die Versuche vom Bilkengrat lehren, daß Durig sich hinsichtlich der Atemmechanik im trainierten und untrainierten Zustand verschieden verhielt. Der Trainierte atmete bei der Leistung eines Meterkilogrammes Arbeit ein geringeres Volum. Dies darf aber nicht ausschließlich als Ausdruck einer Anpassung der Atemmechanik aufgefaßt werden, da zu berücksichtigen ist, daß im Training der Umsatz für die Leistung eines Meterkilogrammes geringer geworden war und damit die Bildung von Kohlensäure, wie anderer das Atemzentrum reizender Stoffe, bezogen auf die Einheit des Effektes, vermindert war. Die Werte, die bei Rainer und Reichel für die Ventilation in Wien gefunden wurden, liegen etwas niederer als jene von Durig, während die Ventilationsgröße von Kolmer etwas höher ist.

Die auf dem Monte Rosa ausgeführten Versuche über die Steigarbeit lassen sich nur mit den Versuchen, die auf Schnee im Winter in Wien angestellt wurden, vergleichen. Entsprechend der wesentlich größeren Bruttoarbeit beim Leisten desselben Nettoeffektes während des Gehens auf Schnee ist natürlich bei uns allen die Ventilation berechnet auf die Leistung eines Meterkilogramms Steigarbeit um mehr als

10% gestiegen; ganz besonders hoch ist die Zunahme bei Rainer, der während des Winterversuches unwohl war.

Betrachten wir die Ventilation auf dem Monte Rosa, so ist diese bei uns allen während der Arbeit in der Höhenstation in dem Maße gestiegen, daß bei keinem das reduzierte[1] Volum auf dem Monte Rosa hinter jenem, das in der Ebene gefunden wurde, zurückblieb. Bei Durig und Reichel ist das Volum in fast gleichem Maße, und zwar um rund 18%, über den Wert aus der Ebene erhöht. Bei Kolmer war in den ersten drei Versuchen der Wert konstant geblieben, am folgenden Versuchstag schnellte er aber gewaltig empor, viel höher als bei uns allen (um 25%), ein Verhalten, das wohl möglicherweise auf ein unzweckmäßiges, weniger leistungsfähiges Arbeiten seiner Atemmuskulatur hindeutet. Bei Rainer finden wir keine Steigerung ausgesprochen; dies besagt jedoch nur wieder das, was wir schon wissen, daß er während des Unwohlseins in Wien ganz gewaltig überventilierte, weshalb wir den Wiener Wert nicht als Normalwert ansehen dürften.

Es könnte der Einwand erhoben werden, daß das wahre Verhalten der Ventilation durch die Art der Berechnung verschleiert worden sei. Es wurde daher, obwohl wir, wie oben dargelegt, dieser Anschauung keineswegs beipflichten, für Durig die Ventilation unter Abzug der Ruheventilation, beziehungsweise bei der Steigarbeit nach Abzug der Ruheventilation und jener, die der Horizontalkomponente entspricht, berechnet; es ergaben sich folgende Werte für die Ventilation beim Horizontalmarsch

	Geatmet cm^3 Luft beobachtet	reduziert
Wien . . 100·7 *m*	2·16	2·09 (Mittel aus dem zweiten, dritten und vierten Versuche der Tabelle X*a*)[2]
Semmering 104·3 *m*	2·41	2·07

beziehungsweise für die Ventilation beim Steigungsmarsch auf festem Boden:

	cm^3 Luft (reduziert)
Wien	27·19
Sporneralpe[3] untrainiert	28·44
trainiert	27·57.

Es rücken sich nun die beiden Werte von der Sporner Alpe sogar noch näher und eindeutig geht hervor, daß das bei der Leistung gleicher Arbeit geatmete, reduzierte Volum bei Durig in verschiedenen Höhen ein gleich großes war.

Wenn wir schon bei dem Verhalten der Ventilation des ruhenden Menschen das Bestehen einer Luxusatmung bestritten haben und die Annahme einer allgemeinen Gültigkeit an der Hand von Versuchsergebnissen widerlegten,[4] so liefern unsere Versuche über die Steigarbeit neuerlich den Beweis, daß es gewiß eine große Zahl von Menschen gibt, die das Absinken des wahren (reduzierten) Minutenvolums im Höhenklima fast mit mathematischer Genauigkeit kompensieren, in großen Höhen eventuell sogar überkompensieren, so daß für gleich große Arbeit bei ihnen stets dasselbe oder eventuell sogar ein größeres (reduziertes) Volum geatmet wird, selbst wenn zur Erreichung dieses Zweckes die Ventilation auf das Doppelte steigen muß. Wir werden dabei wieder auf dasselbe Resultat geführt, das schon an früherer Stelle erwähnt wurde, daß eines der Hauptmomente, das dem Vordringen in größere Höhe eine Grenze setzt oder dieses verlangsamt (geringere Leistung), in dem Verhalten der Atemmechanik gesucht werden muß.

---

[1] Pro Meterkilogramm Steigarbeit berechnetes Volum.

[2] Diese Versuche wurden gewählt, um einen annähernd gleich großen Mittelwert für die Geschwindigkeit in Wien und auf dem Semmering in Parallele stellen zu können.

[3] Gesamtmittel.

[4] Über die Diskussion A. Loewy's über die Luxusatmung an späterer Stelle.

4. Die Vitalkapazität.

Gegenüber den individuell recht verschiedenen Erscheinungen, welche die einzelnen, bisher im Höhenklima untersuchten Personen hinsichtlich ihrer Atemmechanik zeigten, wird das Verhalten in bezug auf die Vitalkapazität bei allen im großen und ganzen gleichartig beschrieben, ja auch in der pneumatischen Kammer hat man eindeutig das nämliche Resultat erhalten, daß unter der Einwirkung verminderten Druckes die Vitalkapazität verringert wird. Teilweise wurden außerordentlich große Abnahmen der Vitalkapazität beobachtet. So beschreibt Paul Bert[1] eine Abnahme der Vitalkapazität auf die Hälfte bei einem Barometerstand von 420 *mm* Hg, der ungefähr jenem entspricht, welchen man auf dem Monte Rosa beobachtet. Die Ausschläge, die Mosso auf dem Monte Rosa fand, sind wesentlich geringer und würden sicher noch viel weniger beträchtlich sein, wenn Mosso an Stelle des an der Gasuhr abgelesenen Volumens das umgerechnete Volumen angegeben hätte, welches das Gas in der Lunge der Versuchsperson bei 37° C und Sättigung mit Wasserdampf eingenommen hätte. Die Werte, wie sie Mosso anführt, lauten gekürzt in Litern und unter Berechnung der Änderung in Prozenten:

	Turin	Margheritahütte	Prozentische Abweichung vom Normalwert (Ebene)
Mosso	3·9	3·1	20
Bizzozero	4·2	3·7	13
Solferino	4·6	4·4	3
Marta	5·2	4·6	10
Sarteur	5·2	4·7	9
Jacchini	4·8	4·5	6

Die Größe der Veränderung, die die Vitalkapazität bei den einzelnen Personen erfuhr, war also eine recht schwankende, ja, die Abnahme um 3% bei Solferino fällt wohl in die Beobachtungsfehler und wenn wir die Temperatur und Wasserdampftension berücksichtigen könnten, würden wir bei ihm sogar eine Zunahme der Vitalkapazität finden.

Zuntz und Schumburg[2] sprachen sich dahin aus, daß die Verminderung der Vitalkapazität nur eine vorübergehende sei, die sich sehr bald ausgleicht, und diese Angabe ist auch in die Literatur übergegangen, da sie auch durch die Versuche von Loewy eine Stütze zu finden schien. Wir können dieser Anschauung, jedenfalls was ihre Allgemeingültigkeit betrifft, nicht beistimmen. Denn bei Zuntz und Schumburg wurden am ersten wie am letzten Aufenthaltstage in Zermatt und in der Bétempshütte wie auch während der Aufenthalte selbst ganz analoge Werte für die Vitalkapazität gefunden.[3] Auch Loewy's Versuche[4] dürfen wir nicht in dieser Weise deuten. Einesteils fehlt in ihnen ebenso wie überhaupt bei allen älteren Versuchen die Umrechnung auf gleiche Temperatur.[5] Außerdem zeigt sich aber in den

---

[1] Pression barométrique, p. 716.

[2] Pflüger's Arch., Bd. 63, p. 478.

[3] Bei Schumburg 2·95 am ersten, 2·97 *l* am letzten Tag, bei Zuntz 4·00 am ersten, 4·03 *l* am letzten Tag, von dem um 10 h abends nach der Ankunft ausgeführten Versuch ist hiebei abgesehen.

[4] Pflüger's Arch., Bd. 66, p. 518.

[5] Die Umrechnung der an der Gasuhr gemessenen Werte der Vitalkapazität auf die Temperatur, welche das Gas in der Lunge gehabt hat, wie auf entsprechende Wasserdampfsättigung, wurde schon von älteren Autoren wiederholt ausgeführt, es kann aber als recht strittig bezeichnet werden, ob man unter den gegebenen Verhältnissen damit nicht direkt einem Fehler zum Opfer fällt, dem man entgehen will. Man muß bedenken, daß sich in der Gasuhr samt Zuleitungen Exspirationsluft von niedrigerer Temperatur befindet als in der Lunge und daß diese Luft vorerst durch die Masse der nachfolgenden, wärmeren Luft vorgeschoben und durch die Gasuhr getrieben wird. Da nach Schluß der forzierten Exspiration Luft von der Exspirationsleitung her nachtreten kann, fehlt natürlich auch jedes Zurückgehen der Gasuhrzeiger infolge der Abkühlung des aus der Lunge ausgeatmeten Gases. An der feuchten Gasuhr kann man ein solches Zurückgehen bei geeigneter Versuchsanordnung ganz gut beobachten. Es soll damit nicht gesagt sein, daß in der Bestim-

Versuchen an A. Loewy auf Col d'Olen und in der Gnifettihütte, bei J. Loewy und L. Zuntz auf der Gnifettihütte kein Einfluß längeren Verweilens, ja, merkwürdigerweise begegnen wir sogar ohne die Umrechnung auf die Körpertemperatur, und zwar nach vorangegangenen Märschen in einer Höhe von 3600 *m* einer Zunahme der Werte für die Vitalkapazität gegenüber den Berliner Werten. Es stützt sich also die Annahme einer anfänglichen, sich später rückbildenden Verminderung der Vitalkapazität nur auf zwei aus der Reihe fallende Werte, von denen der eine von L. Zuntz, der andere von J. Loewy stammt.

Die Werte der Vitalkapazität, die von Zuntz und seinen Mitarbeitern im Jahre 1901 ermittelt wurden, sind leider nicht mitgeteilt. Wie wir an der Hand der vorliegenden Ausführungen sehen, sind die Verhältnisse also keineswegs so entscheidend geklärt, daß nicht die Anführung weiterer Beobachtungen wünschenswert wäre, Wenn Fuchs zum Beispiel schreibt, »die Verkleinerung der Vitalkapazität ist von allen Beobachtern konstatiert worden. Meine Beobachtungen ergeben volle Übereinstimmung mit den Angaben der früheren Autoren...«, so weiß man wirklich nicht, womit die an ihm — an einer einzigen Versuchsperson — gewonnenen Resultate stimmen sollen: mit jenen, in denen eine Abnahme, eine Zunahme oder ein Konstantbleiben der Vitalkapazität eingetreten ist, beziehungsweise mit jenen, in denen die Verringerung der Vitalkapazität eine vorübergehende gewesen sein soll. Fuchs legt besonderen Wert darauf, daß die Vitalkapazitätswerte auf Körpertemperatur umgerechnet und dann erst miteinander verglichen werden, es war ihm daher jedenfalls auch bekannt, wie stark sich die Werte durch die Umrechnung auf Körpertemperatur verschieben und deshalb hätten ihm die älteren Vitalkapazitätswerte nur noch weniger besagen dürfen. Fuchs maß an sich selbst die Vitalkapazität morgens früh in stehender Stellung. Die Schlüsse, die er daraus zog — er führte stets zwei oder drei Messungen der Vitalkapazität nacheinander aus —, daß der in der zweiten Beobachtung gefundene Wert größer oder kleiner als er erste war,[1] sind wohl belanglos und dürfen nicht als Erfolg einer Atemgymnastik im Hochgebirge gedeutet werden. Unsere später zu besprechenden Werte beziehen sich stets auf 8 bis 15 Bestimmungen der Vitalkapazität nacheinander in entsprechenden Intervallen, sie lassen keinerlei Gesetzmäßigkeit in dem Wechsel der Höhe erkennen.

Die Vitalkapazitäten zeigten bei Fuchs eine typische Abnahme beim Vordringen in größere Höhe. Seine Werte lauten in Litern:

		Änderung in Prozent
Erlangen	6·3	
Col d'Olen	6·1	3·1
Capanna Margherita	5·5	12·8

Nach den Angaben von Fuchs nahm sowohl auf Col d'Olen wie in der Capanna Margherita während der Dauer des Aufenthaltes die Vitalkapazität zu, was Fuchs als eine Anpassung, speziell als

mung der Größe der Vitalkapazität mittels der Gasuhr infolge der Unsicherheit der in Anschlag zu bringenden Temperatur keine Fehler gemacht werden, wenn man schlechtweg das am Zeigerwerk der Gasuhr abgelesene Volum in Rechnung stellt, es muß aber auch betont werden, daß die Korrektur auf eine Temperatur von 37° C. und entsprechende Wasserdampfsättigung keineswegs die Gewähr dafür gibt, daß die Werte, die man auf diesem Wege berechnet, richtigere sind.

Noch ein Umstand ist bei der Bestimmung der Vitalkapazitäts mit Hilfe der Gasuhr zu berücksichtigen, die in der Ebene und im Gebirge selbst bei ganz gleichartiger Ausführung des Experimentes in verschiedener Weise wirkt. Jede Gasuhr läßt sich nur auf eine ganz bestimmte Durchgangsgeschwindigkeit eichen. Die Eichung bezieht sich daher meist nur auf einen Durchgang von 5 bis 50 *l*, das ist auf jene Gasmengen, die beim Versuch am Menschen in Betracht kommen. Bei der Vitalkapazitätsbestimmung werden aber 4 *l* Luft in etwa zwei Sekunden durch die Gasuhr getrieben, was einem Durchgang von 120 Minutenlitern entsprechen würde, aber auch diese Durchströmungsgeschwindigkeit ist sicher nicht für die ganze Dauer der Exspiration anzunehmen. Die Gasuhr macht daher bei der Vitalkapazitätsbestimmung Fehler, die nicht in Rechnung zu stellen sind. Man überzeugt sich davon leicht; die Größe der Kapazität fällt nämlich viel höher aus, wenn man langsamer exspiriert. Im Höhenklima, zum Beispiel auf dem Monte Rosa, wird bei Konstantbleiben der Widerstände der Gasuhr, aber wesentlich geringerer Dichte des Gases, natürlich neuerlich eine Variable eingeführt.

[1] Fuchs leitet daraus sofort wieder eine Gesetzmäßigkeit im Sinne einer Ermüdung der Atemmuskulatur, beziehungsweise in späteren Versuchen im Sinne einer Akklimatisation ab.

eine Anpassung an die Temperaturverhältnisse auffaßt. Fuchs glaubt nämlich, daß die Hauptursache der Verminderung der Vitalkapazität im Hochgebirge nicht in einer dauernden Ermüdung der ganzen Atemmuskeln und einem In-die-Höhe-drängen des Zwerchfelles durch die Ausdehnung der Darmgase unter dem niederen Druck zu suchen sei, wie dies frühere Autoren angenommen hatten, sondern daß die niedere Temperatur im Höhenklima hiebei eine wesentliche Rolle spielt. Er glaubt, diesen Befund daraus ableiten zu können, daß die Vitalkapazität bei ihm vor dem Aufstieg auf dem Monte Rosa in Erlangen 6349 cm^3 betrug und bei einer Zimmertemperatur von 20° C. bestimmt wurde, während von ihm nach der Rückkehr bei 15·5° C. Zimmertemperatur 5803 cm^3 Vitalkapazität gefunden wurden. »Ich halte diesen Temperaturunterschied für die Ursache der Verkleinerung der Vitalkapazität in Erlangen II gegenüber Erlangen I, und glaube auch, daß die niedrigen Temperaturen in den Hochregionen eine der wesentlichsten Ursachen für die Abnahme der Vitalkapazität sind.[1] Wir wissen aus zahlreichen Versuchen, daß die Herabsetzung der Umgebungstemperatur ein Reiz ist, der zu einer Vermehrung des Muskeltonus führt, die Wärme hingegen den Tonus verringert. Da auch die gesamte Atemmuskulatur tonisch erregt ist, so wird eine Tonusvermehrung dieser Muskeln zur Folge haben, daß die noch mögliche maximale Verkürzung eine geringere sein muß, als bei geringerem Tonus, und die Vitalkapazität sich dementsprechend verkleinern muß.«

Also schon wieder eine Gesetzmäßigkeit! Wir wollen auf die möglichen Erklärungen, die eine Verschiedenheit im Werte der überraschend großen Vitalkapazität[2] von Fuchs bei Selbstbeobachtungen in Erlangen vor und nach dem Aufenthalt auf dem Monte Rosa herbeiführen konnte, nicht eingehen. Die Zukunft wird ja erweisen, ob eine derartige Abhängigkeit der Vitalkapazität von der Umgebungstemperatur (die ja noch nichts mit der Temperatur des Muskels zu tun hat, welche auf dem Monte Rosa bei vielen Leuten, jedenfalls aber auch bei Fuchs etwas erhöht war!) besteht, denn an und für sich würde die Einzelnbeobachtung von Fuchs ja sowieso zu keinen allgemeingültigen Schlüssen berechtigen, der Zufall will es aber, daß wir ohne Kenntnis der nachher von Fuchs ausgeführten Beobachtungen bereits im Sommer 1906 und im Winter 1907 vergleichende Beobachtungen über den Einfluß der Temperatur auf die Größe der Vitalkapazität anstellten, die aber gar keinen Beweis zugunsten der Hypothese von Fuchs lieferten.

Nachstehende Tabelle p. 57 [405] enthält die betreffenden Werte.

Wir führten die Versuche in der Weise aus, daß die Versuchsperson bei aufgesetzter Nasenklemme durch ein Ventil nach der Gasuhr exspirierte, um zu verhindern, daß bei der zwingend sich einstellenden Inspiration etwa Luft durch die Gasuhr rückgesaugt werde, bevor das Mundstück aus dem Mund entfernt war. Den jedesmaligen Stand der Gasuhr notierte der Beobachter, während der Untersuchte frei mitten im Zimmer stand und die Ausschläge an der Gasuhr nicht kontrollieren konnte. Die Beobachtungen wurden am Vormittage in nüchternem Zustand ausgeführt.

In der nachstehenden Tabelle sind für die Umrechnung der Werte auf Körpertemperatur bei dem am selben Vormittage aneinander anschließenden Beobachtungen je dieselben Gesamttemperaturmittel, die bei den Gasuhrablesungen aufgezeichnet wurden, der Berechnung zugrunde gelegt; wie bemerkt, legen wir auf die Umrechnung gar keinen Wert. Wir zogen es vor, die Größe der Vitalkapazität durch Mittelung zahlreicher Werte je an einem Tage zu bestimmen, dann eine Pause von mindestens einer Woche verstreichen zu lassen und nach dieser erst wieder in derselben Art zu verfahren. Wir wollten auf diese Weise dem Einflusse der Übung auf die Bestimmung entgehen und anderseits Zufälligkeiten, die eine Verlagerung des Wertes nach oben oder unten mit sich bringen konnten, vermeiden. Es schien uns zweckmäßiger, nicht die maximalen Gasvolumina, die von einer Versuchsperson gefördert werden konnten, zu berücksichtigen, sondern den Mittelwert zu wählen, da sich im Verlaufe der Durchführung

---

[1] Vom Autor selbst gesperrt.

[2] Im Verhältnis zur Körpergröße von Fuchs.

XII. Größe der Vitalkapazität (Liter).

	Zimmertemperatur °C	Durig		Kolmer		Rainer		Reichel	
		beobachtet	umgerechnet auf 37°C	beobachtet	umgerechnet auf 37°C	beobachtet	umgerechnet auf 37°C	beobachtet	umgerechnet auf 37°C
Wien, Sommer 4. Juli 1906	+ 24	4·32	4·64	4·20	4·51	4·56	4·90	4·90	5·26
Capanna Margherita (Beginn des Aufenthaltes) 12. Aug. 1906	— 1	3·38	4·04	3·75	4·37	3·75	4·48	3·84	4·59
Capanna Margherita (nach der ersten Marschperiode) 21. Aug. 1906	+ 4	3·36	4·00	3·35	3·99	3·75	4·47	3·85	4·59
Capanna Margherita (Ende des Aufenthaltes) 3. Sept. 1906	+ 12	3·40	4·01	3·26	3·84	3·72	4·38	3·83	4·51
Alagna 5. Sept. 1906	+ 16	3·82	4·23	3·80	4·20	4·23	4·68	4·50	4·98
Wien (Winter) nach der Rückkehr 4. Jän. 1907	+ 7	4·30	4·78	4·16	4·62	4·60	5·11	4·85	5·39

einer Reihe verschiedene Momente gegenteilig beeinflussen konnten.[1] Eine Zunahme konnte zum Beispiel die jeweils sich ausbildende größere Geschicklichkeit im Füllen und Entleeren des Thorax mit sich bringen, während gleichzeitig eine Verminderung durch eine allmählich sich ausbildende Ermüdung der Atemmuskulatur möglich gewesen wäre.

Die Tabelle besagt, daß — vielleicht zufälligerweise — bei uns allen, die bei niedriger Zimmertemperatur bestimmte Größe der Vitalkapazität umgerechnet auf Körpertemperatur größer war als jene die im Sommer festgestellt wurde; der Unterschied in der Zimmertemperatur betrug dabei 17° C.[2] Hiezu ist zu bemerken, daß Durig und Reichel sich an die niedere Umgebungstemperatur während der Wintermonate gewöhnt hatten, während Kolmer und besonders Rainer dieser Forderung nicht gerecht wurden. Wir sind übrigens keinesfalls berechtigt, den geringen Unterschied zwischen den im Winter und im Sommer gewonnenen Werten irgend welche Bedeutung beizulegen, denn diese fallen gewiß innerhalb jene Schwankungen, die man an einem und demselben Menschen bei Bestimmung der Vitalkapazität überhaupt beobachtet, so daß wir mit Grund aussagen können, es sei die Vitalkapazität bei uns im Sommer und im Winter dieselbe gewesen.

[1] Den Verlauf einer einzelnen Reihe zeigen als Beispiel die folgenden Zahlen, die an Durig am 12. August 1906 auf dem Monte Rosa gewonnen wurden, sie illustrieren auch die Größe der Schwankungen, die wir beim Einzelnen in der Höhe der Vitalkapazität beobachteten: 3310, 3290, 3230, 3220, 3510, 3650, 3250, 3360, 3630 cm^3, Mittel 3380 cm^3.

[2] Bei Fuchs sollen die bedeutenden Unterschiede in der Vitalkapazität durch einen Temperaturunterschied von 4·5°C (der Zimmertemperatur!) bedingt gewesen sein.

Die großen Veränderungen, welche die Höhe der Vitalkapazität im Hochgebirge zeigt, werden viel geringer, wenn man die Werte auf die einheitliche Grundlage — Körpertemperatur und Sättigung mit Wasserdampf — zurückführt.

Die folgende Hilfstabelle gibt dann den besten Einblick in das Verhalten.

Tabelle XIII. Relative Änderung der Vitalkapazität in Prozenten des im Winter in Wien gefundenen Wertes für die Vitalkapazität.

	Abnahme in Prozenten des bei 37° C. gemessenen Volums		
	in Alagna	auf dem Monte Rosa	
		im Beginne	am Ende des Aufenthaltes
Durig	11·5	15·9	15·9
Kolmer	9·1	5·4	15·3
Rainer	8·4	12·3	14·2
Reichel	7·6	15·5	15·5

Beachtet man vorerst die auf dem Monte Rosa gewonnenen Ergebnisse, so sieht man, daß bei Durig, Rainer und Reichel sich an der Höhe der Vitalkapazität während des ganzen einen Monat dauernden Aufenthaltes gar nichts Wesentliches geändert hat. Auch die Durchführung der zum Teile wohl anstrengenden Märsche hat zu keinem Training der Atemmuskeln geführt, das etwa eine bessere, maximale Füllung und Entleerung der Lunge zur Folge gehabt hätte.

Bei uns allen fand gewiß keine Anpassung an die im Höhenklima wirkenden Faktoren statt, die im Sinne der von anderen Autoren betonten Regel zu deuten wäre, daß die Vitalkapazität nur vorübergehend vermindert sei und dann zur Norm zurückkehre. Ein solches Ansteigen war bei keinem von uns der Fall, im Gegenteil, die Höhe der Vitalkapazität nahm eher ab, und zwar ganz ausgesprochen bei Kolmer, so daß die Verminderung bei ihm endlich auch einen Wert erreichte, der ganz demjenigen von uns übrigen entsprach. Damit ist jedenfalls die hypothetische Annahme gesetzmäßiger Anpassung durchbrochen.

Das, was übrigens für das Verhalten der Vitalkapazität unter dem Einfluß der Zimmertemperatur bei uns in der Ebene galt, hat sich in gleicher Weise auch auf dem Monte Rosa bestätigt. Am 12. August war die Höhe der Zimmertemperatur —1°C., am 3. September 12°C., es hätte also die von Fuchs supponierte Wirkung der Temperatur jene der Anpassung unterstützen müssen, doch war davon keine Rede, ja bei Kolmer sank sogar die Vitalkapazität am zweitgenannten Tage auf einen ungleich tieferen Wert. Sämtliche Reihen der Vitalkapazitätsbestimmung während unserer Expedition fallen natürlich in Ruheperioden, in denen die direkte Nachwirkung vorangegangener Muskelarbeit ausgeschlossen war.[1]

Nach dem Abstieg vom Monte Rosa bestand bei uns allen in Alagna eine in ähnlichen Grenzen sich bewegende Abnahme der Vitalkapazität fort. Wir können derzeit nicht entscheiden, inwieweit hiebei die Nachwirkung des vorangegangenen Höhenaufenthaltes sich geltend gemacht hat oder inwieweit dieses Verhalten bei uns auch sonst in Alagna beobachtet worden wäre.

Noch eines Umstandes muß Erwähnung getan werden. Vielfach glaubt man, eine große Vitalkapazität als Ausdruck einer größeren Leistungsfähigkeit des Atemapparates ansehen zu sollen. Diesem

[1] Über die Nachwirkung vorangegangener Anstrengung auf die Vitalkapazität siehe auch in Zuntz und Schumburg: Physiologie des Marsches und bei Loewy u. Mitarbeitern (Pflüger's Arch., Bd. 66).

Vorurteile möchten wir, wenigstens was seine Allgemeingültigkeit betrifft, entgegentreten. Es ist wohl sehr wahrscheinlich, ohne daß man auf die nicht absolut vergleichbaren Werte der Vitalkapazität zurückzugreifen braucht, daß Menschen, die nach starker körperlicher Anstrengung untersucht werden, zu einer solchen Zeit eine Verminderung der Vitalkapazität aufweisen.[1] Wie eben die Zuckungshöhe eines jeden Muskels bei fortdauernder Ermüdung abnimmt und die Zuckungsdauer verlängert wird, ist es unzweifelhaft auch bei der Atemmuskulatur. Die Erweiterung des Thorax wird unzulänglicher, das Auspressen der Luft unvollkommener erfolgen, vielleicht auch die Möglichkeit, eine Inspiration so lange hinauszuschieben, bis ein maximales Auspressen der Luft aus dem Thorax erfolgt ist, verkürzt, da die noch reichlich im Blute kreisenden, das Atemzentrum reizenden Stoffe gebieterisch früher eine neue Inspiration auslösen. Es ist auch wahrscheinlich, daß dieses Moment bei der ungleich niedrigeren alvolären Sauerstofftension im Hochgebirge sich ganz besonders bemerkbar macht, ja vielleicht kommt dies bei der Bestimmung der Vitalkapazität in großen Höhen überhaupt ausschlaggebend in Betracht.

Was die Frage der Leistungsfähigkeit und Vitalkapazität betrifft, so sind die Anführungen Mosso's interessant.[2] Die Vitalkapazität des sehr kräftigen Kustoden und Trägers Franciolli war bei einer Größe der Versuchsperson von 1·74 *m* und einem Körpergewicht von 77 *kg* nur 4017 cm^3, während der ungefähr gleich große, nur 59 *kg* schwere Bizzozero 4200 cm^3 Vitalkapazität aufwies, ersterer war nie bergkrank gewesen, letzterer, der ungleich schwächlichere, war stark von der Bergkrankheit befallen worden. Auch sonst hat Mosso verschiedene bergkranke und wenig leistungsfähige Personen beobachtet, deren Vitalkapazität viel größer war als die anderer Personen, insbesondere als jene von Trägern, die im Hochgebirge ungestört schwere Arbeit verrichteten.

Auch jene Untersuchungen, die Mosso an den Mitgliedern des Klub Alpino Italiano anstellte, ergaben, daß einige Alpinisten, deren vitale Kapazität die Norm übersteigt, nichtsdestoweniger an Bergkrankheit litten, während gerade zwei ausgezeichnete Alpinisten, die die schwierigsten Touren ausführten, subnormale Werte für die Vitalkapazität aufwiesen. Ein typisches Beispiel für Personen letzterer Art ist auch mein verehrter Kollege Professor Simony[3], ein Mann von ungewöhnlicher Körperkraft und Leistungsfähigkeit, der insbesondere ein ausgezeichneter Schnellgeher und Ruderer ist.

Bei einer Körperlänge von 1·86 *m* besitzt Simony nur eine Vitalkapazität von 3200 cm^3 (bei 37° C 3500 cm^3)! also fast nur die Hälfte jener, die Fuchs an sich bestimmte, obwohl dieser ganz ungleich kleiner ist. Von unseren Versuchspersonen wies Kolmer — und gerade er war der Bergkranke, dessen Atmungs- und Kreislaufapparat im Hochgebirge wie in der Ebene bei anstrengender Leistung relativ frühzeitig versagte — im Beginne des Gipfelaufenthaltes die geringste Abnahme der Vitalkapazität auf; die relative Höhe seiner Vitalkapazität steht daher auch bei ihm in keinem Zusammenhang mit seinem Befinden oder seiner Leistungsfähigkeit im Gebirge.

Von den Gesetzmäßigkeiten hinsichtlich des Verhaltens der Vitalkapazität im Hochgebirge erübrigt daher, soweit die Sachlage bisher feststeht, nur die Tatsache, daß bei den meisten Personen, die in hohen Gebirgslagen untersucht wurden, eine bedeutende Verminderung der Vitalkapazität beobachtet wurde, die sich bei jenen Leuten, welche bisher während der längsten Zeit (auf dem Monte Rosa) beobachtet wurden, im Höhenklima nicht veränderte, so daß keine Anpassung stattfand. Ob es tatsächlich Personen gibt, bei denen unter analogen Verhältnissen in sehr großer Höhe keine Abnahme der Vitalkapazität beobachtet wird, oder bei denen die Vitalkapazität, wenn sie anfänglich gesunken war, später sich bis zu den Werten, wie sie in der Ebene gefunden werden, steigert, muß erst durch weitere Beobachtungen dar-

---

[1] Siehe die Untersuchungen von Bohr: Bericht der Naturforscherversammlung, Dresden 1907, p. 243; auch Hasselbalch Deutsches Archiv f. klinische Medizin, Bd. 93, über Vitalkapazität sowie über die Bedeutung der Mittelkapazität. Es sei hervorgehoben, daß auch Bohr ausdrücklich betont, daß die Höhe der umgebenden Temperatur ohne Einfluß auf die Größe der Vitalkapazität ist, wobei er auf die einschlägigen Versuche von Hasselbalch verweist.

[2] »Der Mensch auf den Hochalpen«, p. 212.

[3] Siehe p. 14 dieses Bandes.

getan werden. Zwingende Beweise für eine solche Annahme liegen nicht vor. Die Behauptung, daß die niedere Umgebungstemperatur ein wesentliches Moment für das Zustandekommen des Absinkens der Vitalkapazität vorstellt, hat durch unsere Beobachtungen keine Stütze erfahren. Bezüglich des Verhaltens der Vitalkapazität, das wir an uns festgestellt haben, darf zum Schlusse dieses Abschnittes nicht unerwähnt bleiben, daß wir keineswegs der Anschauung sind, durch unsere Ergebnisse allgemein gültige Gesichtspunkte gegeben zu haben. Wir sind alle vier als berggewohnte und auch ziemlich abgehärtete Menschen zu betrachten, es können daher aus dem an uns beobachteten Verhältnisse nicht ohne weiteres Rückschlüsse auf das Verhalten ungeübter oder etwa gar kranker Personen gezogen werden. Wie aus der Darlegung hervorgeht, sind übrigens die derzeitigen Kenntnisse über die Größe der Vitalkapazität in mittleren Höhen noch vollständig unzulängliche, und es muß jeder weitere Beitrag zu dieser Frage dankbar begrüßt werden.

Es scheint zwecklos, über die theoretischen Grundlagen zu rechten, welche die Veränderung der Vitalkapazität im Hochgebirge herbeiführen, bevor das Verhalten nicht allgemein gültig festgestellt ist und bevor wir nicht einmal wissen, ob zum Beispiel muskelschwächere Individuen ein stärkeres Absinken der Vitalkapazität zeigen. Als vollständig befriedigend kann heute keine der Erklärungen gelten.

Es ist nicht wohl einzusehen, wieso die Darmgase im Hochgebirge dauernd einen höheren Stand des Zwerchfelles herbeiführen sollen, ohne daß durch den After mehr Gas entleert wird und ohne daß man sich dieser Blähung bewußt wird und wieso die Muskulatur nicht für die Kompression der Gase aufkommen sollte, es ist auch nicht einzusehen, warum der Tonus der Muskulatur bei erhöhter Körpertemperatur im Hochgebirge vermehrt sein soll. Ausschlaggebender scheinen die Druckverhältnisse im Hinblick auf das Verhalten des Donders'schen und intrapleuralen Druckes zu sein, doch fehlen hierüber Erfahrungen an Menschen; die Tierversuche unter verdünnter Luft vermögen aber nicht zu befriedigen. Gewiß wird man rein akzidentelle Momente, zum Beispiel Einwirkung beengenderer (wärmerer) Kleidung im Hochgebirgsversuch, die Widerstände in der Apparatur, die Zeit des Atemanhaltens u. a. m. in einzelnen Fällen berücksichtigen müssen, bevor man ein entscheidendes Wort in der Sache sprechen kann.

Es ist in dieser Hinsicht nicht uninteressant, wie die Resultate ganz anders ausfallen können, als man vermeint. Bei Ausführung der Bückversuche, die den Zweck hatten, nach der Ursache des Bückschwindels auf dem Monte Rosa zu forschen, maß Reichel auch die Vitalkapazität an Durig. Durig saß hockend, mit gegen die Brust gebeugten Knien, um zu sehen, wie gewaltig sich hiebei durch das Emporpressen der Eingeweide und die Kompression der Darmgase gegen das Zwerchfell die Vitalkapazität ändert. Der Versuch wurde auch in Alagna wiederholt. Das Resultat war das folgende, ausgedrückt in Kubikzentimetern, nicht umgerechnet auf Körpertemperatur:[1]

	Monte Rosa	Alagna
stehend	3400	3800
hockend	3270	3460
liegend	3140	3300

Die Vitalkapazität war also im Liegen wesentlich geringer als im Hocken gewesen! Hier spielt wohl sicherlich die Möglichkeit, die auxiliäre Muskulatur mit zur Atmung heranzuziehen, eine große Rolle, immerhin spricht aber der Versuch nicht sehr zugunsten der Darmgashypothese. Vermutungsweise kann angenommen werden, daß im Liegen die flach angespannten Bauchdecken das Tiefertreten des Zwerchfelles erschweren und dadurch die Vertiefung der Inspiration mehr behindern, als im Hocken, bei dem die Bauchdecken ausgiebig entspannt sind.[2]

---

[1] Da die Versuche unmittelbar anschließend vorgenommen wurden, sind sie auch ohne Umrechnung vergleichbar.

[2] Siehe diesbezüglich auch die Versuche von Bohr und Hasselbalch.

XIII.

Über die Alveolartension.

1. Vorbemerkungen.

Das Resultat, das durch die Einstellung der Atemmechanik auf einen gewissen Typus erzielt wird, drückt sich in der Höhe der Gasspannungen in den Lungenalveolen aus. Bis vor nicht zu langer Zeit wurde die Höhe des Wertes der alveolaren Tension als ausschließlich entscheidend für den Gehalt des arteriellen Blutes an Sauerstoff und Kohlensäure angesehen. Die Beobachtungen von Haldane, insbesondere aber jene von Bohr haben dargetan,[1] daß außer dem Übertritt von Gas auf Grund der Differenzen zwischen dem Teildruck des Sauerstoffes und der Kohlensäure in der Alveolarluft und im venösen Blut noch ein Gasaustausch stattfinden kann, für dessen Erklärung man eine aktive Tätigkeit des Lungenepithels annehmen muß. Von den beiden Möglichkeiten — Gassekretion und Vergrößerung der Spannungsdifferenz zwischen Blutgasen und Lungenluft durch vitale Eigenschaften — nimmt Bohr heute die letztere als die wahrscheinlichere an. Nichtsdestoweniger spielt aber in Bezug auf die Frage nach der Deckung des Sauerstofferfordernisses, die Höhe der alveolaren Spannung die ausschlaggebendste Rolle, wenn wir auch annehmen müssen, daß es vielleicht nicht möglich ist, ausschließlich auf Grund der alveolaren Kohlensäure und Sauerstofftension die Sättigung des Blutes mit Sauerstoff oder dessen Gehalt an Kohlensäure zu berechnen.

Es ist demnach auch heute noch von einem großen Interesse, die Höhe der Teildrucke des Sauerstoffes und der Kohlensäure in der Lunge zu kennen und die Beziehungen zwischen dem Gaswechsel im Gewebe, dem Sauerstoffverbrauch und der Kohlensäureproduktion und der Gasspannung in den Lungen zu betrachten, um ein Bild über den Vorgang der Deckung des Sauerstoffbedarfes, beziehungsweise über das Verhalten der Reize, durch die das Atemzentrum unter gegebenen Verhältnissen erregt wird, zu gewinnen.

Die Höhe der Gasspannungen in den Lungen ist nicht direkt durch die Berücksichtigung der prozentuellen Zusammensetzung der Exspirationsluft gegeben, da ein Teil des Exspirationsgases aus jenen Teilen der Lunge stammt, in denen kein nennenswerter Gasaustausch stattfindet. Wenn man auch annehmen muß, daß in der Mund- und Rachenhöhle, in der Trachea und den größeren Bronchien ein Übertritt von Sauerstoff und Kohlensäure durch die Schleimhaut erfolgt, so ist die Einbuße die das Gas in diesen Teilen an Sauerstoff erfährt, beziehungsweise der Zuwachs an Kohlensäure doch als ein so geringer anzusehen, daß man schlechtweg annehmen darf, daß diese Partien des Respirationstraktes mit unverändertem Inspirationsgas gefüllt blieben.

A. Loewy[2] hat die Größe dieses schädlichen Luftraumes durch zahlreiche Versuche an der Leiche und im Experiment bei fraktionierter Ausatmung festgestellt und Grenzwerte zwischen 100 und 150 cm^3 gefunden, so daß er zur Annahme eines wahrscheinlichen Wertes von 140 cm^3 gelangte, den er auch beim Versuch, den Bronchialbaum mit Gips auszugießen, erhalten hatte. In ihren späteren Untersuchungen[3] kamen Loewy und v. Schrötter aber zum Resultat, daß dieser Wert ein Maximalwert sein müsse.

---

[1] Auf Grund der neuesten Arbeiten von Krogh, die während der Drucklegung dieser Mitteilung erschienen, wird die Annahme einer Gassekretion sehr unwahrscheinlich oder ist schlechterdings auszuschließen.

[2] Pflüger's Arch., Bd. 58, p. 416.

[3] A. Loewy und H. v. Schrötter, Untersuchungen über die Blutzirkulation des Menschen. Berlin, Hirschwald 1905, p. 36.

In unseren weiter unten mitzuteilenden Versuchen haben wir demnach einen etwas geringeren Wert für den schädlichen Raum des Respirationsapparates angenommen, diesem aber den schädlichen Raum außerhalb des Körpers bis zum Exspirationsventil zugezählt, so daß wir schließlich einen Wert von 160 cm^3 in Rechnung stellten. Allzugroß ist der Einfluß, den ein etwas größerer oder geringerer Wert für den schädlichen Raum auf die Berechnung ausübt, übrigens nicht, so daß es ziemlich irrelevant erscheint, ob dieser um 10 cm^3 größer oder kleiner angenommen wird; keinesfalls wird man aber die Berücksichtigung des schädlichen Raumes vernachlässigen dürfen.

Um der gewiß nicht zu bestreitenden Unsicherheit dieses Wertes zu entgehen, haben Haldane und Priestley eine von ihnen als »direkte Bestimmung« der alveolaren Tension bezeichnete Methode angegeben.[1] Ihr Verfahren besteht darin, daß zuerst die Zusammensetzung jener Luft bestimmt wird, die in unmittelbarem Anschluß an eine Inspiration durch eine schnelle tiefe Exspiration entleert wird und dann jene Luft analysiert wird, die am Ende einer normalen Exspiration durch forcierte Exspiration mehr ausgeatmet werden kann; das Mittel der beiden Bestimmungen ergibt nach den genannten Autoren den mittleren Gehalt der Alveolarluft an Kohlensäure und Sauerstoff. Der Zweck dieses Verfahrens ist nach kräftiger Spülung des schädlichen Raumes die Zusammensetzung des Lungengases auf der Höhe der Inspiration und der Exspiration bestimmen zu können. Besonders auffallend ist das Resultat, daß die beiden Autoren die Atemfrequenz von 9 bis 30 Atemzügen willkürlich variieren konnten und doch dieselben Gasspannungen für die Kohlensäure in der Lunge fanden. Die Methode lieferte bei der Untersuchung der Alveolartension verschiedener Personen recht gut übereinstimmende Resultate, sie diente auch zur Bestimmung der Gasspannungen in der Lunge unter dem Einflusse verschiedenen Luftdruckes sowie bei Beobachtungen anläßlich eines Aufenthaltes auf dem Monte Rosa des Schülers von Haldane, R. Ward, auf dessen Versuche später näher eingegangen werden wird. Die Methode von Haldane gestattet in der Tat bei Personen, die geschickt genug sind, immer in gleichartiger Weise am Schlusse der Inspiration und am Schlusse der Exspiration eine Fraktion des Lungengases für die Bestimmung zu entleeren, gewiß sehr gut vergleichbare Werte zu gewinnen, die wenig voneinander abweichen, doch möchten wir glauben, daß durch den eingeschlagenen Weg nichts gewonnen wurde, vor allem aber keine größere Verläßlichkeit erreicht wurde, als wenn wir den etwas dehnbaren Wert für den schädlichen Raum in Rechnung stellen. Bei der »direkten Bestimmung der Tension« handelt es sich unzweifelhaft um eine Modifikation der Atmung. Es muß zum Beispiel jenes Gas, das am Schlusse der Exspiration entleert wird, eine größere Kohlensäuremenge und weniger Sauerstoff enthalten, als ihm unter natürlichen Verhältnissen in der Lunge zukommt, denn es stehen die Verbrennungsvorgänge im Körper während der Exspiration nicht still, sondern es wird weiter Kohlensäure produziert und der Lunge zugeführt, da ja die Arbeit des Herzens und der Atemmuskeln andauert und das Blut, das aus diesen auch in Körperruhe besonders energisch tätigen Geweben abströmt und auf kurzem Wege dem rechten Herzen und der Lunge zugeführt wird. In der Lunge selbst wird sich aber, und dieser Umstand ist wohl von größter Bedeutung, je länger Gas in dieser zurückgehalten wird, umsomehr ein Ausgleich zwischen den Gasen des Venenblutes und der Alveolarluft herstellen und damit die Spannung des Sauerstoffes in der Lungenluft sinken, jene der Kohlensäure steigen. Bis zu welchen Werten dies erfolgt, hängt natürlich unter sonst gleichen Verhältnissen bei einer und derselben Versuchsperson von der Art ab, in der diese die Separierung der Gasproben, die sie aus der Lunge ausatmet, vornimmt und von der Zeit, in der die der Probe dienende Exspiration nach der Inspiration stattfindet.[2] Diese Zeit ganz der willkürlichen Beeinflussung zu entziehen und genau so zu bemessen, wie sie bei der automatischen Respiration sein würde, stellt wohl die größte Schwierigkeit vor, der man bei der Methode gerecht werden muß. Es ist selbstverständlich, daß eine

---

[1] Journal of Physiology Bd., 32, p. 225.

[2] Als Beweis hiefür dient wohl auch die Tatsache, die aus den Versuchsprotokollen zu entnehmen ist, daß man gar nicht selten findet, daß die Kohlensäurespannung der am Schlusse der Inspiration exhalierten Gasprobe größer als jene der am Schlusse der Exspiration exhalierten war.

Verlangsamung oder Beschleunigung der Phase Inspiration—Exspiration zu einer Verschiebung der Werte führen muß. Hiebei ist außer den genannten Momenten noch zu bedenken, daß durch Bohr und Henriques[1] darauf hingewiesen wurde, daß das Lungengewebe selbst unter Umständen einen ganz energischen Stoffumsatz aufweist, der bis zu 60 % des Gesamtumsatzes in Körperruhe betragen kann, weshalb auch diese Verbrennungsvorgänge die Höhe der Gasspannungen in der Lunge bei jeder Modifikation der Atmung ganz wesentlich beeinflussen können.

Wir glauben, auf Grund dieser Ausführungen annehmen zu können, daß die Methode von Haldane und Priestley meist etwas höhere, unter Umständen aber auch niedere Werte liefern dürfte als den Tatsachen entspricht, während es natürlich auch keineswegs ausgeschlossen ist, daß bei geeigneter Ausführung des Experimentes auch die wahren Werte gefunden werden können. Das Übereinstimmen von Werten, die unter gleichartigen Bedingungen gewonnen wurden, kann aber als Beweis für deren absolute Richtigkeit darum nicht dienen, weil hiedurch nur erwiesen ist, daß die Versuchsperson das Experiment jedesmal in ähnlicher Weise ausgeführt habe.

Unter dem Einflusse verdünnter Luft dürften wegen der geringen absoluten Größe der in der Lunge vorhandenen Gasmengen sich Änderungen infolge einer Fortdauer der Verbrennungsprozesse und infolge des Spannungsausgleiches ausgiebiger geltend machen als bei normalen Drucken, so daß wir hiebei das Auftreten noch mehr erniedrigter Sauerstofftension und auch relativ mehr erhöhter Kohlensäuretensionen werden erwarten können, wenn nach der Haldane'schen Methode untersucht wird, als wenn der schädliche Raum in Rechnung gestellt wird. Zu dieser Vermutung trägt die von Bohr gefundene Tatsache noch neuerlich bei, daß unter vermindertem Druck oder bei eintretender Sauerstoffknappheit der Umsatz in der Lunge selbst ansteigt und dadurch die Spannungsdifferenzen zwischen Blut und Lungengas vergrößert werden. Das Schwergewicht des Einwandes gegen die »direkte Methode« der Bestimmung der alveolaren Tension glauben wir deshalb auf die Veränderung des natürlichen Atemtypus legen zu sollen, da wir aus zahlreichen Respirationsversuchen wissen, daß gerade das Einhalten unveränderter, möglichst gleichartiger Atemmechanik zu den Grundbedingungen des Respirationsversuches zählt.

Nichtsdestoweniger soll die große Bedeutung der Methode von Haldane und Priestley und jene der interessanten Resultate, die Haldane und seine Schüler gewonnen haben, nicht geschmälert werden.[2]

Die Methode der Ermittlung der alveolaren Tension unter Berücksichtigung des schädlichen Raumes stammt in ihrer ursprünglichen Form von Bohr.[3] Bereits im Jahre 1891 bestimmte Bohr die Gasspannung in der Bifurkationsluft des Hundes nach einer Formel

$$X = \frac{AE - aI}{A - a},$$

die es ihm ermöglichte, den Prozentgehalt des Gases an Kohlensäure und Sauerstoff in der Bifurkation zu berechnen. In dieser Formel bezeichnet A das Volum des einzelnen Atemzuges, E den Prozentgehalt des Gases in der Exspirationsluft, I den Prozentgehalt des Gases in der Inspirationsluft und a das Volum des schädlichen Raumes. Letzteres bestimmte Bohr direkt durch Ausgießen. Er überzeugte sich auch, daß die Zusammensetzung der Bifurkationsluft mit jener der Alveolarluft übereinstimmt.

Diese Art der Berechnung wurde dann von Zuntz und seiner Schule übernommen und auf Untersuchungen am Menschen übertragen.[4] Auch in unseren vorliegenden Untersuchungen anläßlich der Expedition des Jahres 1906 haben wir uns derselben bedient.

---

[1] Archiv f. Physiologie 1897, p. 590 u. Skand. Arch. XXII, p. 222.
[2] Siehe auch bei Hasselbalch, Skand. Arch., XVII, p. 462.
[3] Skand. Arch., Bd. II, p. 248.
[4] Siehe A. Loewy, Pflüger's Arch., LVIII, p. 427, 1894.

Über das Verhalten der Gasspannungen in der Lunge unter verschiedenem Luftdruck liegen Untersuchungen aus dem pneumatischen Kabinett, aus dem Luftballon und aus verschiedenen Bergeshöhen vor. Die grundlegenden Versuche von Loewy[1] über diesen Gegenstand haben in letzterer Zeit durch Haldane und seine Mitarbeiter eine vorzügliche Ausgestaltung erfahren, da in den Beobachtungen der letztgenannten Autoren auch bei lange dauerndem Aufenthalt in der pneumatischen Kammer die Alveolartension bestimmt wurde und viel eindeutigere, den im Hochgebirge gewonnenen Ergebnissen entsprechendere Resultate gewonnen wurden.

2. Die alveolare Sauerstoff- und Kohlensäurespannung in der Ebene.

Überblickt man die Größen, die für die Sauerstoff- und Kohlensäurespannung in der Lunge beim Menschen in der Ebene gefunden wurden, so ergibt sich als eindeutiges Resultat, daß die Sauerstoffspannungen bei den einzelnen Versuchspersonen ungemein ähnlich waren, während die Kohlensäurespannungen etwas mehr wechselnde sind.

Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die vorliegenden Werte:

XIV. Übersicht über die Gasspannungen in der Lunge in der Ebene.

Name	Ort	Ba	Tension in *mm* Hg (trocken)		Bemerkung
			CO_2	O_2	
N. Zuntz	Berlin	758	33·8	103·0	Pflüger's Arch., Bd. 63.
A. Loewy	»	758	41·8	103·4	
J. Loewy	»	758	37·7	103·1	
L. Zuntz	»	758	38·4	103·0	
Durig	Wien	732	31·8	109·0	Arch. f. Anat. u. Phys., 1904.
N. Zuntz	Berlin	758	36·1	104·7	
Waldenburg	»	758	33·1	105·7	»Höhenklima u. Bergwanderungen«, 1905.
Kolmer	»	758	40·0	101·0	
Müller	»	758	39·5	105·0	
Zuntz	»	758	36·1	104·7	
1	Oxford	755	30·4	—	Fitzgerald und Haldane, Journal of Physiology 32 (1905).
2	»	755	41·5	—	
3	»	755	36·5	—	
Ward	London	769	37·7	109·0	Journal of Physiology, XXXVII, 1908.

1 Minimum. 2 Maximum. 3 Mittel der Beobachtungen an Männern; die anderen Mittel sind nicht angeführt, die oberen und unteren Grenzen der Werte liegen ähnlich wie bei den Männern.

[1] A. Loewy, Untersuchungen über die Respiration und Zirkulation bei Änderung des Druckes und des Sauerstoffgehaltes der Luft. Berlin 1895, Hirschwald.

Die Ergebnisse der Versuche von Zuntz, Loewy, Durig sowie die Beobachtungen von Zuntz und seinen Mitarbeitern wurden durch die Beobachtungen von Haldane und Priestley[1] sowie jene von Fitzgerald und Haldane vollkommen bestätigt. Die Schwankungen in der alveolaren Kohlensäurespannung bewegen sich in den nämlichen Grenzen zwischen 30 und 40 *mm* Hg. Wesentlich enger aneinander gruppieren sich die Werte für die Sauerstoffspannung, die in den Versuchen der englischen Schule meist indirekt unter Annahme eines respiratorischen Quotienten von 0·85 berechnet, aber nicht direkt bestimmt wurde. Die Werte sind jedoch ebenfalls ähnlich. Eine der direkten Bestimmungen, die von Ward angeführt wurde, stimmt mit dem bei Durig gefundenen Wert nahezu vollkommen überein. Die Schwankungen im Sauerstoffdruck liegen zwischen 100 und 110 *mm* Hg, sie sind also (relativ) um den dritten Teil (10⁰/₀ gegen 30⁰/₀) geringer als jene in der Kohlensäurespannung. Die in unseren neuen Versuchen gewonnenen Werte für die Gasspannungen in den Lungen sind in den Anhangstabellen angeführt.[2] Nachstehende Übersichtstabelle gibt die Mittelwerte wieder.

Tabelle XV. Übersicht über die Gasspannungen in der Lunge.

(Bei den Versuchen in Wien in den Jahren 1906 und 1907.)

Name	Jahreszeit	Tension in Millimeter Hg trocken	
		CO_2	O_2
Durig	Sommer	32·2	108·7
	Winter	33·4	109·8
	Frühling	33·8	110·5
Kolmer	Sommer	32·8	105·3
	Frühling	33·2	110·1
Rainer	Sommer	31·3	106·5
	Frühling	32·7	109·8
Reichel	Sommer	34·6	103·2
	Winter	35·1	105·9
	Frühling	31·8	111·3

Unsere Versuche liefern neuerlich Werte für die alveolare Tension, die sich ganz an das bisher Beobachtete anschließen. Auch die Einzelwerte in den Generaltabellen liegen recht befriedigend nahe aneinander.

Vergleicht man die bei uns im Sommer und im Winter ausgeführten Versuche, so ergibt sich, daß die Tensionen bei uns im Sommer niedriger, im Winter höher lagen; die Ausschläge sind, wenn wir die Schwankungen zwischen den einzelnen Versuchen betrachten, so gering, daß man sie wohl als ganz

[1] Diese sind nicht besonders angeführt (Journ. of Physiology, Bd. 32, p. 225).

[2] Aus den Generaltabellen ist ersichtlich, daß nicht sämtliche Respirationsversuche hinsichtlich der Höhe der Alveolartension berechnet wurden. Der Grund hiefür liegt darin, daß in manchen Versuchen vergessen wurde, die Zahl der Atemzüge zu zählen, in anderen war die Zählung dadurch illusorisch geworden, daß die Versuchsperson eingeschlafen war oder sich in der Zählung verirrt hatte. Endlich sind jene Beobachtungen, in denen offenkundige Fehler in der Zählung der Atemzüge von seiten der Versuchsperson vorlagen, ohne daß eine Kontrolle durch den Experimentator in Stichproben vorhanden war, ausgeschaltet worden.

zufällig bezeichnen müßte, wenn sie nicht bei uns allen einheitlich aufgetreten wären und wenn nicht Kohlensäuretension und Sauerstofftension sich im Sinne einer Zunahme geändert hätten, während man doch erwarten möchte, daß einem Steigen der Kohlensäuretension (infolge geringerer Ventilation) ein Sinken der Sauerstofftension entsprechen sollte. Auch aus dem Grunde erwähnen wir dieses bei uns beobachtete Zutreffen, weil von Boycott und Haldane[1] hinsichtlich der Kohlensäuretension ein ähnliches Verhalten beobachtet wurde. Diese Autoren geben ebenfalls an, daß bei warmer Witterung die alveolare Kohlensäuretension einem niedrigeren Werte zustrebt.

Sie fanden im

Mai	41·7 *mm*
November	41·3
Juni	39·7
August	39·6

also Schwankungen in einem ähnlichen Ausmaße und in gleichem Sinne, wie wir sie gefunden hatten. Bei uns fällt einzig und allein ein Wert von Reichel, der im Frühjahr bestimmt worden war, aus der Reihe. Die Ausschläge sind keinesfalls so groß, als daß sie von irgend welchem entscheidenden Einfluß auf die Höhe der Tensionen beim Aufenthalt im Hochgebirge sein könnten, auch haben sie nichts mit der Höhe der Körpertemperatur zu tun, wir können sie viel eher in Parallele mit der Beobachtung von Hasselbach stellen, die ergab, daß die Bestrahlung mit Licht zu einer Erhöhung der alveolaren Kohlensäuretension führt.[2]

3. Über den Einfluß der Meereshöhe auf die Gasspannungen in der Lunge.

Bereits vor mehr als 10 Jahren haben Loewy und dessen Mitarbeiter die Größe der alveolaren Tension im Hochgebirge bei Ruhe und Arbeit bestimmt. Neuerlich wurden solche Berechnungen im Jahre 1904 von Durig und Zuntz auf Grund einer großen Zahl von Respirationsversuchen im Hochgebirge veröffentlicht, Resultate, die denn auch bei der Wiedergabe der zahlreichen Bestimmungen über die Aveolartension, welche von der Expedition des Jahres 1901 stammten, im Werke »Höhenklima und Bergwanderungen« eingehend berücksichtigt wurden. Im selben Jahre wie das letztgenannte Buch erschienen auch die Ergebnisse der Arbeiten Durig's auf der Sporner Alpe und auf dem Bilkengrat, in denen das Verhalten der Alveolartension bei Ruhe und Arbeit, unter dem Einfluß des Trainings und verschiedener Höhe dargestellt wurde.

In neuester Zeit sind endlich Beobachtungen, die Ward an sich und zwei Mitarbeitern anstellte, veröffentlicht worden, die zum Teile wertvolle Bestätigungen dessen erbringen, was Zuntz und dessen Schüler in ihren früheren Arbeiten bereits beschrieben haben.

Wenn auch die Verhältnisse in bezug auf die Gasspannungen in der Lunge nicht in solchem Umfange individuellen Schwankungen im Hochgebirge unterworfen sein dürften wie jene bei der Atemmechanik, bei der ja Atemtiefe und Atemfrequenz in einem gewissen Wechselverhältnis stehen, so zeigen doch die bisher ausgeführten Versuche, daß das Verhalten der einzelnen Versuchspersonen keineswegs ein vollkommen gleichartiges war. In gar manchen Fällen mögen es Fehler in der Methode sein, um die es sich handelt, in anderen scheinen aber wirklich individuelle Verschiedenheiten vorzuliegen. Es sollen aus diesem Grunde, um eine gedeihliche Diskussion durchführen zu können und das Gesetzmäßige festzustellen, auch die älteren Versuche in ihren Mittelwerten angeführt werden, um so mehr, als sie in der Literatur bisher recht unvollständig Berücksichtigung gefunden haben.

---

[1] Journal of Physiology, XXXVII, p. 359 (1908).

[2] Skand. Arch., XVII, p. 465.

1. Das Verhalten der Kohlensäuretension.

Wenn wir vorerst die Versuche von U. Mosso und in diesen die Kohlensäuretension, welche sich aus ihnen berechnet, betrachten, so kommt man zum Schlusse, daß mit dem Vordringen in größere Höhen sich die Kohlensäuretension um gar nichts ändert. Hiebei wäre das Verhalten von Solferino genau dasselbe gewesen wie jenes von Sarteur und Jacchini.

XVI. Kohlensäuredruck in der Exspirationsluft.[1]

Ort	Ba	Millimeter Hg bei		
		Jacchini	Solferino	Sarteur
Gressoney	650	20·82	18·71	21·88
»	650	20·82	22·23	18·35
Alpe Indra	620	21·44	20·73	20·03
»	620	21·79	13·71	
Linlyhütte	510	18·42	18·76	19·81
Gnifettihütte	480	21·26	24·35	17·49
Capanna Margherita	430	18·63	20·51	19·64
Capanna Margherita	430	18·29	19·00	19·30

[1] Nach »Höhenklima und Bergwanderungen«, p. 325.

Wir haben nun bereits oben ausgeführt, daß die an Solferino gewonnenen Zahlen bei näheren Zusehen derart unwahrscheinlich sind, daß sie kaum den Tatsachen entsprochen haben können. Zum selben Resultate kamen wir auch bei der Diskussion über die Höhe des Erhaltungsumsatzes. Wenn es nun noch eines Wahrscheinlichkeitsbeweises für unsere Vermutung bedürfen würde, so könnten wir diesen aus der Höhe der Kohlensäuretension ableiten, denn wir müssen, nach all dem, was wir auf Grund der Untersuchungen an älteren und jungen, an berggewohnten und nicht berggewohnten Personen wissen, annehmen, daß so niedrige Werte für die Kohlensäuretension, wie sie bei den Soldaten Mosso's in geringer Höhe gefunden wurden, nur in Versuchen gewonnen werden dürften, die aus sehr großer Höhe stammen oder in denen die Atmung keine unbeeinflußte war.[1] Übrigens ist durch die Versuche der verschiedensten Autoren[2] festgestellt, daß die alveolare Tension in der Ebene zwischen 30 und 40 *mm* Hg beträgt, so daß dann die Soldaten Mosso's beim Aufsteigen bis Gressoney schon im vollen Umfang mit jenem Absinken der Kohlensäuretension reagiert haben müßten, wie andere Menschen erst in Höhen von 4560 *m* oder bei noch größerer Luftverdünnung. Die Annahme von Zuntz und seinen Mitarbeitern, daß das Verhalten der Soldaten Mosso's auf deren Berggewohnheit zurückzuführen sei, möchten wir daher vollständig fallen lassen.[3]

Die Resultate, die von Zuntz und seinen Schülern anläßlich der Expeditionen der Jahre 1895, 1896 und 1901 gewonnen wurden, gibt folgende Tabelle wieder. Wir entnehmen aus diesen von den Verfassern angeführten Zahlen, daß sich schon in Zermatt eine Verminderung der CO_2-Tension gegenüber Berlin bemerkbar gemacht hat, die auf dem Rothhorn im allgemeinen noch größer geworden ist.[4] Ganz

[1] Wir nehmen hiebei die an Durig auf der Sporner Alpe ausgeführten Beobachtungen nicht aus.

[2] Siehe obige Tabelle und Fitzgerald und Haldane, Journal of Physiolog. XXXII, p. 486.

[3] »Höhenklima und Bergwanderungen«, p. 325, auch bei Loewy in Oppenheimer's Handbuch, IV, p. 121.

[4] Eine Ausnahme bildet Waldenburg, bei Zuntz ist die Verminderung zwischen Brienz und Rothorn (im selben Jahre) deutlich.

XVII. Größe der Kohlensäurespannung in den Lungen (ältere Versuche).

Ort	Seehöhe *m*	Waldenburg	Kolmer	Caspari	Müller	A. Loewy	J. Loewy	L. Zuntz	N. Zuntz
Berlin	54	33·1	40·0		39·5	41·8	37·7	38·4	35·0
Brienz	500	44·5	38·2	46·6	40·3	41·3			38·5
Zermatt	1600								30·9
Rothorn	2130	36·1	38·8	40·3	37·6	38·8			32·6
Col d'Olen	2856	35·1			32·1	29·8	37·7	33·9	24·4
Bétempshütte	2990								25·1
Gnifettihütte	3647					31·5	30·9	30·7	
Capanna Margherita	4560		29·7	25·4	18·2	35·0			21·4

ausgesprochen ist die Abnahme bis auf niedere, um 25 *mm* schwankende Werte, wenn wir von dem ganz aus der Reihe fallenden Wert von A. Loewy absehen. Inwieweit dieser letztere Wert Tatsachen entspricht, ist nicht zu entscheiden, da wir nach der Zuntz'schen Methode der Berechnung der Alveolartension derartige Werte im Hochgebirge sonst nicht beobachteten. Es ist ganz wohl möglich, daß es sich hiebei um irgend welche akzidentelle Momente handelt, wie sie auch bei Waldenburg und Caspari in Brienz vorhanden gewesen sein mögen, und zu Größen in der alveolaren Kohlensäuretension geführt haben, die mit allen übrigen Bestimmungen der Kohlensäurespannung in der Lunge kaum in Einklang zu bringen sind.[1] Allerdings glauben wir, daß hierbei nicht die Einführung des schädlichen Raumes in die Berechnung, sondern andere Bedingungen ursächlich beteiligt gewesen seien.

Die nachstehende Tabelle XVIII gibt eine Übersicht über die Resultate, die wir im Jahre 1906 gewannen.

Bei Durig findet sich eine stete Abnahme der CO_2-Tension in der Lunge mit der Abnahme des Barometerstandes, und zwar bereits in 1000 *m* Höhe auf dem Semmering deutlich ausgesprochen, auch bei Reichel ist bereits auf dem Semmering die alveolare Kohlensäurespannung im Mittelwerte und den Extremen niedriger. Bei Durig wie bei allen übrigen ist die Kohlensäurespannung in Alagna weiter vermindert, noch niedriger liegt sie auf der Sporner Alpe und auf Col d'Olen,[2] Werte, die um 20 *mm* CO_2-Tension liegen, kennzeichnen bei uns allen das Verhalten auf dem Monte Rosa.

Die zwei Jahre nach uns ausgeführten Beobachtungen Ward's illustriert die folgende Tabelle XIX. Auch hier finden wir das Absinken der Kohlensäuretension in der höheren gegenüber der niederen Station ausgesprochen, aber die Werte, insbesondere jene der beiden Herren Hutchinson liegen viel höher als bei uns und auch bei den in Tabelle XVII angeführten Personen sowie — wenn man sie berücksichtigen will — bei den Versuchspersonen Mosso's.

---

[1] Siehe auch Boycott u. Haldane, Journal of Physiology, 1908, Bd. 37, p. 356.

[2] In diesen beiden Stationen besteht bei Durig keine der Höhendifferenz entsprechende Veränderung der Werte untereinander, was auf die geringere Güte der Sporner-Alpe-Ruheversuche und jene der Col-d'Olen-Versuche zurückzuführen sein dürfte.

XVIII. Kohlensäurespannung in den Lungen in *mm* Hg (trocken).

Ort	Höhe in *m*	Durig			Kolmer			Rainer			Reichel		
		Minimum	Maximum	Mittel	Minimum	Maximum	Mittel	Minimum	Maximum	Mittel	Minimum	Maximum	Mittel
Wien	150	31·4	33·4	32·0	32·2	33·8	33·2	31·5	33·8	32·7	34·3	36·4	35·1
Semmering	1000	27·0	31·2	29·2							31·4	35·8	34·1
Alagna	1190	26·8	31·2	28·9	29·0	[1] 31·8	30·6	29·0	32·5	30·4	32·3	36·3	33·9
Sporner Alpe	1326	23·2	31·0	27·0									
Col d'Olen	2856	28·5	29·2	28·9									
Capanna Margherita I	4560	18·8	20·9	[2] 19·6	20·5	25·0	22·4	21·7	25·3	23·3	19·1	22·0	20·8
Capanna Margherita II	4560	19·8	22·3	20·9	21·2	22·3	22·0	22·4	24·7	23·8	19·9	22·5	21·5
Capanna Margherita nach Märschen	4560	18·9	19·5	19·2	20·4	21·4	20·8	20·6	23·0	22·0	18·7	20·7	20·0

[1] Unter Auslassung von Nr. 222.

[2] 1903 betrug die alveolare Kohlensäurespannung 24·1 *mm* im Mittel, sie hatte sich während des fast dreiwöchentlichen Aufenthaltes allmählich vermindert.

XIX. Kohlensäurespannung in den Lungen.

Ort	Barometerstand	Ward	W. Hutchinson	G. Hutchinson
London	769	37·7		
Zermatt	633	34·2	35·2	34·7
Capanna Margherita	443	28·5	31·9	30·7
Zermatt	632	30·6	34·2	31·3

Dies kann nun mehrerlei Ursache haben. Vor allem müssen wir die Möglichkeit einräumen, daß es sich um ein tatsächlich anderes Verhalten der Versuchspersonen Ward's handelt. Für diese Annahme spricht insbesondere auch der Umstand, daß an Ward bei kurzem Aufenthalt in der pneumatischen Kammer Werte für die CO_2-Tension beobachtet wurden, die wesentlich höher als jene auf dem Monte Rosa sind[1], während sie sich bei längerem Aufenthalt in der pneumatischen Kammer mehr den Werten vom Gipfel näherten, wenn in der Kammer auch die Kohlensäuretension immer noch etwas höher blieb als auf dem Monte Rosa.

Eine zweite Möglichkeit ist diejenige, die Ursache auf die verschiedene Methodik der Untersuchung zu schieben. Die englischen Autoren verwerfen die Berechnung auf Grund der Einführung des schädlichen

[1] Journal of Physiology, Bd. 32, p. 387.

Raumes, während wir der Methodik der englischen Autoren, obwohl sie diese als direkte bezeichnen, Zweifel entgegenbringen. Wir haben schon oben die Ansicht ausgesprochen, daß besonders dann, wenn die alveolare Kohlensäurespannung eine sehr niedrige ist, wie auf dem Monte Rosa, eine Modifikation der Atmung im Sinne einer Verzögerung der Exspiration, neben einer Erhöhung der Atemarbeit auch zu einem weitergehenden Ausgleich zwischen der Kohlensäurespannung im venösen Blut und dem Alveolengas Anlaß geben kann. Eine solche Verzögerung müßte natürlich zur Konstatierung eines höheren Kohlensäuredruckes führen, wogegen geringe Unterschiede in der Höhe des angenommenen schädlichen Raumes ziemlich belanglos sind.

Wollen wir an irgend einem Beispiele den Einfluß des schädlichen Raumes auf die alveolare Kohlensäurespannung untersuchen, so ergibt sich, daß die Verschiebungen, die wir hiebei finden, durchaus keine ausschlaggebenden sind, selbst wenn wir extreme Werte wählen, die auf gar keinen Fall nach oben oder unten überschritten werden. Wir sehen hiebei von der Zuzählung des schädlichen Raumes der Ventile ab, da dieser mit der Größe der Verschiebung der Werte nichts zu tun hat.

Es enthalte zum Beispiel die Exspirationsluft 5% CO_2 und es würden 8000 *cm*³ Gas der Einfachheit halber in 10 Atemzügen geatmet worden sein, so erhalten wir bei 100 *cm*³ schädlichen Raum eine Tension von 23 *mm*, bei 160 *cm*³ schädlichen Raum eine Tension von 25 *mm* Kohlensäure, der Ausschlag ist also in der Tat zu vernachlässigen. Zudem müssen wir bedenken, daß bei ein und derselben Person in verschiedenen Höhenstationen der nämliche schädliche Raum in Betracht kommt, weshalb die Abweichung also nur dem Bruchteile entsprechen kann, welcher sich aus der Druckdifferenz ergibt.

Die direkte Methode hat zur Voraussetzung, daß die Atmung eine gleichmäßige und nicht modifizierte sei. Wohl glauben Haldane und Priestley,[1] daß es keinen Einfluß ausübe, wenn die Atmungsfrequenz von 9 bis 30 Atemzügen willkürlich verändert wird und daß hiedurch die Tension in der Lunge nicht geändert werden könne. Dem widerspricht die Tatsache, daß im Hochgebirge gerade durch willkürliche Vertiefung der Atemzüge unter Erhöhung der alveolaren Sauerstoffspannung (mit der eine Erniedrigung der alveolaren Kohlensäurespannung einhergeht) eintretendes Unbehagen rasch behoben wird. Mögen wir die Größe des schädlichen Raumes annehmen wie wir wollen, immer wird sich aus der Berechnung der Resultate, wenn wir nur die Tiefe der Atemzüge, beziehungsweise deren Zahl variieren, eine beträchtliche Änderung der Tension ergeben.[2]

Wir müssen annehmen, daß im langedauernden und kontrollierten Ruheversuch, wie wir dies im Kapitel Atemmechanik ausführten, sicher normale Verhältnisse in bezug auf Atemfrequenz und Atemtiefe bestehen; die Werte für die Tiefe eines Atemzuges werden aber um so mehr als richtig zu beurteilen sein, als sie das Mittel aus mehr als 100 Atemzügen vorstellen. Ebenso sicher können wir auch annehmen, daß die Atmung bei den einzigen beiden, noch dazu in verschiedener Weise ausgeführten, Atemzügen (Entleerung am Schlusse der Inspiration, beziehungsweise Exspiration) der englischen Autoren eine ganz beträchtlich modifizierte ist. Wie sich diese Modifikation nun unter dem Einflusse verschiedener Drucke und verschiedener mechanischer Bedingungen für die Atmung (geänderter Donders'scher Druck) verhält, wissen wir derzeit nicht; welchen Einfluß eine Ermüdung der Atemmuskulatur oder ein fortdauernd gesteigerter Umsatz in der Lunge in den arbeitenden Herz- und Atemmuskeln, beziehungsweise die hiebei gebildete Kohlensäure auf die Zusammensetzung der Lungengase ausübt, können wir derzeit ebenfalls nicht entscheiden.

Wir möchten daher auf Grund der vorliegende Resultate zwar keineswegs behaupten, daß die bei uns gewonnenen Werte beweisende, jene Ward's unrichtige seien und die Frage bis zur Entscheidung über die beste Methodik offen lassen, glauben jedoch, daß vorerst zu erweisen ist, ob derartige Unterschiede, wie sie zum Beispiel zwischen Hutchinson und uns gefunden wurden, individuelle oder durch die Methode bedingte sind. Diese Frage ist einfach zu entscheiden, wenn an einer jener Personen, deren

---

[1] Journal of Physiology, Bd. 32, p. 225.

[2] Auf diese Tatsache hat bereits A. Loewy vor mehr als 10 Jahren hingewiesen.

Alveolartension in der pneumatischen Kammer des Lister Institutes bei niederem Druck während längerem Aufenthalt nach der direkten Methode untersucht wurde, unmittelbar anschließend auch mittelst der Berücksichtigung des »schädlichen Raumes« die Alvolartension berechnet wird. Es handelt sich in einem solchen Falle ja nicht um den starren Standpunkt der Verteidigung einer Methode, sondern darum, die Wahrheit zu finden, und jene Methode, welche diese erkennen läßt, ist die richtige. Eine gewisse bedeutungsvolle experimentelle Grundlage, darauf sei noch verwiesen, hat übrigens die Methode, unter Berücksichtigung des schädlichen Raumes die Gastension in der Lunge zu bestimmen, bereits durch die Bohr'schen Experimente über die Zusammensetzung der Bifurkationsluft gefunden.

Wenn wir das quantitative Ausmaß der Veränderung der Kohlensäurespannung derzeit noch als unerledigt gelten lassen müssen, so ist das qualitative Verhalten — ein Absinken, das sich schon in einer Höhe von 1000 *m* (Durig und Mitarbeiter) oder in 1600 *m* (Zermatt; Zuntz, Ward) bemerkbar macht — bei allen einwandfreien Versuchen ausgesprochen gewesen; ebenso ist auch die Tatsache sicher festgestellt, daß das Vordringen in größere Höhen eine Abnahme des Kohlensäurebestandes des Körpers zur Folge hat, die um so größer wird, je bedeutender die Höhe ist, in welche die Versuchsperson gelangt. Damit muß also auch die Reizwirkung der Kohlensäure auf das Atemzentrum sinken, je weiter der Mensch in größere Höhe vordringt.

Wie bekannt, hat Mosso die Behauptung aufgestellt und durch zahlreiche eigene Versuche wie durch jene seiner Schüler zu erhärten gesucht, daß die Bergkrankheit eine Folge des Kohlensäuremangels des Körpers im Hochgebirge sei. Es soll an späterer Stelle auf diese Theorie in zusammenhängender Besprechung der Frage: Was ist Bergkrankheit? eingegangen werden; daselbst werden auch die neuen Abhandlungen von Henderson gebührende Berücksichtigung finden. An dieser Stelle sei nur hervorgehoben, daß ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten der Bergkrankheit und der Höhe der alveolaren Kohlensäuretension nicht aufzufinden ist. Die nicht an Bergkrankheit erkrankten Soldaten Mosso's hatten dauernd schon in geringer Höhe eine so niedere alveolare Kohlensäurespannung, also dementsprechend eine solche Kohlensäurearmut des Körpers wie keine der bisher untersuchten anderen Personen. Bei der Expedition des Jahres 1901 waren alle Teilnehmer stark von der Bergkrankheit befallen worden, auch Zuntz hatte unter der Erkrankung zu leiden und doch war seine alveolare Kohlensäurespannung in diesem Jahre viel höher (27 *mm*) als im Jahre 1903 (21 *mm*), in welchem sich Zuntz auf dem Gipfel vollständig wohl fühlte. Caspari, bei dem die Kohlensäurespannung am höchsten lag, war am allerschwersten erkrankt. Bei G. Hutchinson, der auf dem Monte Rosa viel mehr unter der Bergkrankheit zu leiden hatte als Ward (siehe unten), war die Tension, nach der »direkten Methode« bestimmt, ebenfalls wesentlich höher gewesen.

Auch die Tension unseres dauernd bergkranken Kolmer war höher als jene von Reichel und Durig, die nicht an Bergkrankheit zu leiden hatten.

2. Das Verhalten der Sauerstofftension.

Die Sauerstoffspannung verhält sich insofern analog wie die Kohlensäurespannung, als auch sie ganz einheitlich bei allen Versuchen im Hochgebirge geringer wird, ja bei ihr sind selbst in den älteren Versuchen Ausnahmen nicht beobachtet worden. Bereits in 500 *m* Höhe (Brienz) war im Jahre 1901 die alveolare Sauerstoffspannung niedriger als in Berlin und noch tiefer lag sie auf dem Rothorn, am tiefsten in der Capanna Margherita.

Folgende Tabelle XX gibt einen Überblick über die im Jahre 1896 und 1901 diesbezüglich gewonnenen Ergebnisse.

Zwei auffallende Werte aus Tabelle XX bedürfen noch der Erwähnung. Der eine derselben stammt von Müller aus der Capanna Margherita, er würde dafür sprechen, daß bei ihm der Sauerstoffdruck in der Lunge auf Col d'Olen und in der 1700 *m* höher gelegenen Margheritahütte derselbe gewesen sei. Wir dürfen diesen Wert, der mit allen anderen sicher festgelegten nicht in Einklang zu bringen ist, eliminieren,

XX. Größe der Sauerstoffspannung in den Alveolen in verschiedenen Höhen (ältere Versuche) *mm* Hg.

Ort	Höhe *m*	Waldenburg	Kolmer	Caspari	Müller	A. Loewy	J. Loewy	L. Zuntz	N. Zuntz
Berlin	56	105·7	101·0		105·0	103·4	103·1	103·0	104·7
Brienz	500	84·5	94·0	80·7	88·5	86·7			
Zermatt	1600								80 0
Brienzer Rothorn	2130	68·5	66·6	64·3	62·0	66·7			
Col d'Olen	2856	57·5			60·7	68·1	57·1	58·5	68·7
Bétempshütte	2999								
Gnifettihütte	3647					56·0	53·7	53·9	
Capanna Margherita	4560		46·0	49·0	61·0	37·7			57·0

da wir den Monte-Rosa-Versuch an Müller, wie an früherer Stelle ausgeführt, überhaupt nicht als beweiskräftig ansehen können. Die bei A. Loewy beobachtete alveoläre Tension von 37·7 *mm* ist nicht erklärlich, eine Ursache für das Zustandekommen eines so niederen Wertes, wie er sonst bei gar keiner Person gefunden wurde, ist nicht anzugeben, und es muß abgewartet werden, bis die Bestätigung für die Richtigkeit des Vorkommens so niedriger Gasspannungen in der Lunge beim Aufenthalt in 4560 *m* Höhe erbracht wird. Tatsache ist es jedenfalls, daß bei Loewy auch bei auffallend flacher Atmung im pneumatischen Kabinett sehr niedere alveolare Sauerstofftensionen berechnet wurden, die bis auf 27 *mm* herabgingen.

XXI. Größe des Sauerstoffdruckes in den Alveolen in verschiedener Höhe (1906).

Ort	Höhe *m*	Durig			Kolmer			Rainer			Reichel		
Wien	150	106·1	111·8	109·8	108·2	111·6	110·1	109·3	110·6	109·8	102·6	107·5	105·9
Semmering	1000	96·4	101·2	99·2							90·4	96·5	93·4
Alagna	1190	92·2	99·3	97·2	91·2	97·1	94·0	93·8	95·6	94·9	87·0	91·8	89·3
Sporner Alpe	1326	89·6	99·1	96·3									
Col d'Olen	2856	62·1	65·4	63·7									
Capanna Margherita	4560 I	55·2	58·6	57·2	51·5	58·8	54·8	50·6	54·7	53·1	56·5	59·1	57·9
Capanna Margherita	4560 II	55·4	57·6	56·7	55·3	58·3	56·9	51·2	55·5	53·9	54·7	57·8	56·6
Capanna Margherita nach Märschen		56·4	58·2	57·6	53·5	56·4	54·9	51·4	56·6	54·4	54·3	57·5	56·4

Wie die voranstehende Tabelle zeigt, sank auch bei uns in allen Höhenstationen der Sauerstoffdruck in der Lunge auf um so tiefere Werte ab, je niedriger der Barometerstand war. In gleicher Höhenlage waren bei uns die Werte für die Sauerstofftension in der Lunge fast ganz gleich groß. Das gleichmäßige Anhalten des Absinkens des Sauerstoffteildruckes in der Lunge ist besonders gut in den Versuchen an Durig ausgesprochen, von dem Beobachtungen aus sechs Höhenstationen vorliegen.

XXII. Größe der Sauerstoffspannung in den Alveolen, Versuch von Ward 1908.

Ort	Höhe *m*	Ward			W. Hutchimson		
		Maximum	Minimum	Mittel	Minimum	Maximum	Mittel
London	—			109·0	—	—	—
Zermatt	1600	76·8	84·9	81·6	—	—	—
Capanna Margherita	4500	45·7	54·6	49·8	41·2	46·7	44·7
Zermatt (nach der Rückkehr)	1600	83·1	93·7	88·4	79·6	83·7	81·6

Bei Ward wurde auf dem Monte Rosa annähernd eine gleiche Höhe der Sauerstofftension wie bei uns gefunden. Diese beträgt wie auch bei Zuntz und Durig im Jahre 1903 rund 50 *mm* Hg; etwas niederer liegt der Wert, der bei Hutchinson beobachtet wurde, was sich möglicherweise auch durch eine Verzögerung der Exspiration unter dem Einflusse geringerer Geschicklichkeit der Ausführung des Experimentes durch Hutchinson erklären läßt.

Da der Sauerstoffmangel als eines der wichtigsten Momente beim Zustandekommen der Bergkrankkeit angesehen wird, drängt sich die Frage auf, ob die alveoläre Sauerstofftension bei jenen Personen besonders niedrig sei, bei denen es zur Ausbildung unzweifelhafter Symptome von Bergkrankheit gekommen ist. Dieselbe Frage haben wir oben bezüglich der Kohlensäuretension mit Rücksicht auf die Mosso'sche Akapnie-Theorie bereits besprochen. Wie schon oftmals erwähnt, war Kolmer während des ganzen Aufenthaltes auf dem Gipfel ausgesprochen bergkrank, heftig waren die Symptome bei ihm besonders in den ersten Tagen des Aufenthaltes, an denen er nicht bloß über Unwohlsein und Atemnot, sondern auch über Brechreiz klagte. Wenn wir seine Sauerstofftension betrachten, so liegt deren Wert höher als jener, der beim gesunden Rainer gefunden wurde, niederer als jener von Durig und Reichel, jedoch keinesfalls in einem Ausmaße, der von irgend welcher Bedeutung sein kann.

Kolmer stellt also nach keiner Richtung hin ein Extrem vor und es besteht demnach gar kein Anhaltspunkt für einen Zusammenhang zwischen der Höhe der Lungengasspannung und dem Auftreten der Bergkrankheit. Die Versuche des Jahres 1901 und 1903 geben uns in der strittigen Frage keine Auskunft, denn 1903 waren weder Durig noch Zuntz irgendwie bergkrank und 1901 waren alle Teilnehmer stark von Bergkrankheit befallen,[1] dennoch verhielten sich aber anscheinend die alveolären Tensionen nicht verschieden, jedenfalls wies Zuntz — in diesem Falle bergkrank — dieselbe alveolare Tension auf wie zwei Jahre später im unerkrankten Zustand.

Der einzige Hinweis auf eine Abhängigkeit der Bergkrankheit von Schwankungen in der Sauerstofftension auf dem Monte Rosa kann in den Versuchen von Ward erblickt werden. Ward schreibt nämlich, daß er selbst nur wenig unter der Bergkrankheit zu leiden hatte, während sein Begleiter W. D. Hutchinson von dieser stark befallen war. Es heißt im Original: »On August 3rd, the day of arrival, R. O. W. experienced in a slight degree symptoms; such as shortness of breath, headache, chilliness,

[1] Siehe die oben p. 73, V, p. 37, zitierte Schilderung und »Höhenklima«, p. 143.

which may be attributed to the effect of altitude; these however passed off, but were succeeded on the following day by a severe bilious attack, which came on during the night and lasted twenty-four hours....this disturbance, which undoubtedly was a variety of mountain sickness....« Bezüglich W. Hutchinsons: »As regards symptoms those of W. D. H. were on the whole more severe than those of R. O. W. He suffered from mountain sickness more acutely. During the first night at Monte Rosa he was sick three times, on each occassion waking up with a sense of suffocation; and several times in the evenings of the first two or three days at the hut he was observed to be slightly cyanosed when sitting still.«

Hutchinson wies nun im Mittel der ersten Tage die niedrigeren Sauerstoffspannungen auf (44 *mm*) als Ward (47 *mm*), auch war zur Zeit, als Ward sich am wenigsten wohl fühlte, am Tage der Ankunft vormittags, seine alveolare Tension etwas niedriger als später. Wir möchten uns der Anschauung jedoch nicht anschließen, als würden diese Werte beweisend dafür sein, daß die Tension bei Ward und Hutchinson zur Zeit des Höhepunktes der Erkrankung tatsächlich niedriger gewesen sei und dies die Kausalität für das Auftreten der Erkrankung vorstellen würde. Man muß bedenken, daß der niedrige Wert, der zuerst bei Ward vier Stunden nach der Ankunft in der Hütte, und zwar nach dem ziemlich anstrengenden sechsstündigen Aufstieg von der Bétempshütte (the summit was reached after 6 hours of somewhat laborious ascent«) gefunden wurde, zu einem guten Teile auf Ermüdung der Atemmuskulatur und unzweckmäßigeres Ausführen der sicherlich eine größere Geschicklichkeit erfordernden fraktionierten Exspiration zurückzuführen, sein dürfte. Um 6^h 45^m abends wurde nämlich an Ward bereits ein höherer Wert (47·3 *mm*) gewonnen, den wir zur selben Tageszeit bei ihm auch drei Tage später begegnen.

Zwingend ist auch bei Hutchinson die Annahme eines Zusammenhanges zwischen der alveolaren Sauerstofftension und der Bergkrankheit nicht, denn da Hutchinson bereits beim Stillsitzen zyanotisch wurde, so dürfte er wohl den Anforderungen an die Ausführung der »direkten« Bestimmung der Alveolartension in der Capanna Margherita nicht in dem Maße gerecht geworden sein, wie in der Ebene. Es wurde an ihm übrigens am ersten und am zweiten Tage des Aufenthaltes — als er krank war — derselbe Wert für die alveolare Sauerstofftension gefunden wie vier und fünf Tage später, also zu einer Zeit, zu der er sich bereits wieder wohl fühlte. Es kann daher die Beobachtung, daß bei ihm an den ersten Aufenthaltstagen auch eine sehr niedrige Sauerstofftension bestand, ebenso als eine Folge der gleichzeitig bestehenden Symptome der Bergkrankheit aufgefaßt werden, wie umgekehrt die Bergkrankheit als eine Folge der niederen Sauerstofftension.

Gerade die Tatsache, daß zum Beispiel Zuntz bei unseren Versuchen im Jahre 1903 am Tage der Ankunft, ohne irgend welche Zeichen von Bergkrankheit zu zeigen, besonders niedere alveolare Sauerstofftensionen aufwies[1], spricht dafür, daß das Auftreten so erniedrigter Werte für die Sauerstofftension eine sekundäre Folge des Befindens der Versuchsperson, nicht aber die primäre Ursache des Auftretens der Bergkrankheit sein dürfte. Es ist ja auch sicher anzunehmen, daß wir (Rainer, Reichel und Durig) bereits auf der Dufourspitze oder noch mehr natürlich unter dem niedrigeren Drucke auf dem Montblanc ganz analog erniedrigte Werte für die Sauerstofftension gezeigt hätten (oder haben) und doch nicht bergkrank geworden sind.

Wir müssen hier auch noch der Bemerkung Ward's[2] gedenken, daß in der pneumatischen Kammer bei längerem Aufenthalt schon bei einem Barometerstand, wie er der Höhe der Bétempshütte entspricht (also rund 3000 *m*), Symptome von Bergkrankheit auftraten, obwohl die alveolare Sauerstoffspannung hiebei noch 60 *mm* Hg betragen haben dürfte.

[1] Bei der Verschiedenheit der Methoden möchten wir nur auf die relative Änderung der Tension (zirka 5 *mm*) einen Wert legen, die bei Hutchinson analog wie bei Zuntz ausgesprochen war.

[2] L. c., p. 389. »It was remarkable, that in spite of very free ventilation comfortable accommodation and absence of muscular fatigue, nausea and sleeplessness were produced in the chamber with a fall of pressure to only 540 *mm*«. Zuntz und seine Mitarbeiter haben solche Erfahrungen in der pneumatischen Kammer allerdings nicht gemacht.

Es soll durch diese Ausführungen natürlich nicht daran gerüttelt werden, daß das Absinken des Sauerstoffdruckes und der Sauerstoffmangel von entscheidendem Einfluß auf das Zustandekommen der Bergkrankheit ist, dagegen muß aber hervorgehoben werden, daß wir keinen Beweis dafür haben und daß auch die Wahrscheinlichkeit dagegen spricht, daß eine Änderung der alveolaren Sauerstofftension um nur wenige Millimeter auf dem Monte Rosa bereits die Erscheinungen der Bergkrankheit herbeiführt.

Findet während des Aufenthaltes auf dem Gipfel eine Anpassung statt und modifiziert sich die Atemmechanik derart, daß die alveolare Spannung gesteigert wird, also günstigere Bedingungen für die Sauerstoffversorgung auf dem Wege einer zweckmäßigen Regulation angestrebt werden?

Diese Frage hat eigentlich ihre Antwort, wenigstens soweit sie uns als Versuchspersonen betrifft, schon so ziemlich in jenem Abschnitte erfahren, in dem die Verhältnisse bei der Atemmechanik besprochen wurden.[1] Immerhin wäre aber dessenungeachtet eine wesentliche Erhöhung der Tension bei länger dauerndem Aufenthalt doch durch eine Veränderung des Prozentgehaltes der Exspirationsluft denkbar.

Im Jahre 1903 beobachtete Zuntz und Durig bei achtzehntägigem Aufenthalt auf dem Monte Rosa-Gipfel ein leichtes Ansteigen der Sauerstofftension während der ersten drei Tage; dies war aber, sieht man von den ersten Versuchen ab, ein so bescheidenes, daß es gegenüber den Schwankungen, die man überhaupt in der Höhe der Alveolartension bei einer und derselben Person berechnet, nicht sonderlich in die Wagschale fällt.

Unsere Versuche vom Jahre 1906, bei denen sich der Gipfelaufenthalt über einen ganzen Monat erstreckte,[2] engen nun die Möglichkeit einer solchen Anpassung noch wesentlich weiter ein. Bei Durig und Reichel fand eher ein geringes Sinken, bei Kolmer und Rainer ein ganz schwaches Ansteigen der alveolaren Sauerstofftension statt; sämmtliche Schwankungen bewegen sich aber ganz innerhalb jener Breite, innerhalb derer die Beobachtungen überhaupt voneinander differieren. Es ist demnach in jenen beiden Versuchsreihen, während derer die Versuchspersonen bisher am längsten auf dem Monte-Rosa-Gipfel verweilten, keine Veränderung der alveolaren Sauerstofftension erfolgt, welche im Sinne einer Anpassung gedeutet werden dürfte. Diese Schlußfolgerung wird selbstverständlich auch dann, wenn man die Zweifel der englischen Autoren an den Bestimmungen des schädlichen Raumes teilen wollte, von diesen nicht berührt.

Die Größen, bis zu denen die Sauerstofftension bei Ward und in unseren Gipfelversuchen absank, sind übrigens ungemein ähnlich, so daß die Höhe der alveolaren Sauerstofftension auf dem Monte Rosa nicht nur als qualitativ, sondern auch als quantitativ feststehend erachtet werden kann.

In einer Reihe von Beobachtungen haben wir auch den Einfluß vorangegangenen Aufenthaltes im Freien, beziehungsweise verschieden anstrengender Märsche auf die alveolare Gasspannung untersucht.

Wie die Tabellen XVIII und XXI zeigen, war die Kohlensäuretension im Gefolge der Märsche etwas erniedrigt, die Sauerstofftension jedoch nahezu unverändert, was vielleicht in dem Sinne gedeutet werden kann, daß die Reizwirkung der Kohlensäure auf das Atemzentrum in dem Maße gesunken ist, als die Wirkung der übrigen, das Atemzentrum reizenden und bei der Muskelarbeit gebildeten Stoffe, die während der Arbeit nicht vollständig genug entfernt wurden, noch vorwaltete und zu einer Mehrventilation Anlaß gab, wobei auch ein Austreiben von Kohlensäure aus dem Blut durch das Auftreten saurer Produkte und eine nachhaltende Reduktion unvollständig oxydierter Stoffe zu berücksichtigen ist. Diese Frage wurde an früherem Orte ausführlich diskutiert. Möglich ist es jedoch, daß wir es hiebei zum allergrößten Teil nur mit den Folgen des Absinkens des respiratorischen Quotienten zu tun haben. Da bei längerdauerdem Marsche der Kohlenhydratbestand immer weiter reduziert wird (Zuntz, Marschversuche an den Soldaten,

---

[1] P. 18, 28 u. 42 [366, 376 u. 390].

[2] Siehe Tabelle Nr. XXI, Capanna Margherita I und II.

und Durig, Sporneralp-Versuch) liegt naturgemäß der respiratorische Quotient nach den Marschversuchen niederer als vorher und wird dadurch auch die alveolare Kohlensäurespannung gedrückt.

Einer Erwähnung wert sind auch noch die Traubenzuckerversuche. Infolge Verschiebung des respiratorischen Quotienten ist die Kohlensäureproduktion in diesen größer gewesen als in anderen Versuchen. Während nun in der Ebene die Ventilation im Zuckerversuch um mehr als 1 *l* im Mittel gesteigert war, betrug die Zunahme im Monte-Rosa-Versuch nur 0·4 bis 0·8 *l*; auch die maximale Zunahme während der größten Höhe der Zuckerwirkung fiel auf dem Monte Rosa geringer aus als in der Ebene; die Werte lauten 2·8 *l* für letztere, 1·9 *l* für den Monte Rosa. Der Kohlensäurereiz ist es wohl, der während des Traubenzuckerversuches in erster Linie für diese Erhöhung der Ventilation verantwortlich gemacht werden muß, um so mehr, als das Ansteigen der Zahlen, welche die Größe der Kohlensäureausscheidung pro Minute ausdrücken, so ziemlich mit der Zunahme der Ventilation zusammenfällt.[1]

Auf dem Monte Rosa, wo bei erniedrigter alveolarer Kohlensäuretension jedenfalls die durch den Sauerstoffmangel herbeigeführten Reize auf das Atemzentrum die größere Rolle spielen, ist die Wirkung des Zuwachses an Kohlensäure in der Alveolarluft, beziehungsweise im Blut von geringerem Einfluß auf das Atemzentrum gewesen, als in der Ebene. Es wäre demnach interessant, in eigens darauf abzielenden Versuchen die Größe des Reizzuwachses beim Anwachsen des Kohlensäuregehaltes in der Alveolarluft neben so niedrigen Werten für die Sauerstofftension zu ermitteln.

Auch die Bück- und Hockversuche, von denen nur drei berechnet und angeführt wurden, sollen noch kurz gestreift werden. Als Arbeitsversuche — im Gegensatz zu Ruheversuchen, in denen wir nur den reinen Erhaltungsumsatz bestimmen — ist das Atemvolum bei ihnen naturgemäß etwas gesteigert. Die Wirkung auf die Alveolartension ist aber eine ganz auffallende. Unter Vermehrung der Zahl der Atemzüge bei geringerer Steigerung des Atemvolums ist die Sauerstofftension in der Lunge auf Werte gestiegen, die wir sonst bei Durig in gar keinem einzigen Versuch beobachteten und umgekehrt die Kohlensäuretension so tief gesunken wie sonst nie.

Nach der Sauerstofftension, die wohl besonders darum so hoch liegt, weil durch den Hochstand des Zwerchfelles bei gesteigerter Atemtiefe die Ventilation der Lunge eine wesentlich ausgiebigere war, müßte man erwarten, daß das Befinden der Versuchsperson in Hockstellung und beim Bücken ein besonders günstiges sein sollte und doch tritt gerade dabei ein Gefühl von Atemnot und Schwindel und Unbehagen auf. Die Verhältnisse deuten daher eher auf eine Wirkung im Gefolge der niederen Kohlensäuretension hin, um so mehr als oben gezeigt werden konnte, daß weder das Verhalten des Blutdruckes noch jenes des Pulses im Hockversuch gegenüber dem Versuch in Ruhelage oder beim Sitzen irgendwie merklich verändert war.[2] Auf einen Einfluß der niederen Kohlensäurespannung deutet auch das Verhalten der Luftmenge hin, die pro Millimeter Kohlensäuretension in der Lunge geatmet wurde. Die Werte liegen (unreduziert) 488 cm^3 in Ruhe gegenüber 735 cm^3 im Hocken! Es besteht jedoch keineswegs die Berechtigung, hieraus etwas im Sinne der Akapniehypothese zu folgern.

Eine viel naheliegendere Erklärung kann darin gesucht werden, daß eben nicht der Kohlensäurereiz im Hochgebirge das Ausschlaggebende ist, sondern daß der Sauerstoffmangel sich in seinen Folgen in erster Linie bemerkbar macht. Während des Hockens ist derjenige Teil der Lunge, der sich am Respirationsvorgang beteiligt, infolge der Verlagerung der Eingeweide gegen den Thorax wohl ein geringerer geworden, während jene Partien, die sich während der (vertieften) Atemzüge entfalten sollen, sich mehr entfalten müssen. Unter dieser (natürlich hypothetischen) Annahme, würden sich diese Lungenpartien etwa ähnlich verhalten wie die Alveolen beim Emphysem, bei dem durch die Dehnung der Alveolarwand auch eine Dehnung der Lungenkapillaren stattfindet und damit eine Verengerung der Lichtung

[1] Siehe Anhangstabellen, p. 102 u. 103 [450 u. 451].

[2] Siehe Abschnitt III, p. 27.

derselben eintritt, die die Widerstände in diesen erhöht.[1] Es würde sich daher im Hocken um einen Gasaustausch in einem kleineren Lungenabschnitt und unter ungünstigeren Verhältnissen handeln, da gerade die weniger entfalteten, weniger Luft haltenden und daher weniger überdehnten Lungenpartien mehr Blut durchfließen müßte, also trotz erhöhter Alveolartension ungünstigere Bedingungen für die Arterialisation des Blutes vorliegen würden.

Trotz örtlich höherer alveolarer Sauerstoffspannung kann also unter solchen Verhältnissen der Sauerstoffgehalt des Blutes ein niedrigerer werden; kommt hiezu größerer Verbrauch infolge der Muskelarbeit beim Hocken oder Bücken, so wird die Folge des sich steigernden Sauerstoffmangels ausgiebigere Ventilation und Sinken der Kohlensäuretension in der Lunge sein. Insofern würde also die geringe Größe der alveolaren Kohlensäurespannung, beziehungsweise das Ansteigen der Werte für die pro Millimeter Kohlensäuredruck in der Lunge ventilierte Gasmenge nur ein Ausdruck dafür sein, wie mächtig die Reize auf das Atemzentrum im Gefolge des Sauerstoffmangels angestiegen sind, so daß die niedere Kohlensäurespannung nicht die Ursache, sondern nur eine Begleiterscheinung des im Gefolge des Sauerstoffmangels beim Bücken auftretenden Unwohlseins vorstellen würde.[2]

In unmittelbarem Zusammenhang mit der Gasspannung in den Lungen und dem Atmosphärendruck, unter dem die Gasspannung berechnet wurde, steht der Prozentgehalt der Lungenluft an Kohlensäure und Sauerstoff, aus welchem ja der Tensionswert ermittelt wird. Es mögen nur einige Worte auf das Verhalten dieser Prozentzahlen hinweisen, auch sollen nur unsere eigenen Versuche berücksichtigt werden.

XXIII. Prozentgehalt der Gase in der Lungenluft.

Ort		Höhe m	Durig		Kolmer		Rainer		Reichel	
			CO_2	O_2	CO_2	O_2	CO_2	O_2	CO_2	O_2
Wien	Sommer	150	4·62	15·58	4·70	15·30	4·51	15·32	4·97	14·90
	Frühling		4·73	15·58	4·68	15·68	4·66	15·62	4·99	15·00
	Winter		4·81	15·73					4·48	15·70
Semmering		1000	4·60	15·66					5·36	14·70
Alagna		1190	4·71	15·51	4·93	15·27	5·00	15·37	5·50	14·50
Monte Rosa	I	4560	5·04	14·67	5·73	14·01	5·65	14·24	5·31	14·70
»	II		5·44	14·69	5·70	14·77	6·19	13·99	5·37	14·60
»	1		4·83	15·79						
»	2		4·95	14·85	5·37	14·15	5·61	13·89	5·09	14·50

[1] Bohr vertritt eine gegenteilige Ansicht als die erwähnte, die von den meisten Klinikern gelehrt wird. Der experimentelle Nachweis für den tatsächlichen Einfluß der Dehnung der Lungenkapillaren auf die durchströmende Blutmenge wäre unschwer zu erbringen; übrigens ist zu bedenken, daß hier wie beim Emphysem die Wirkung erhöhten negativen Druckes infolge des Forcierens der Inspiration auf die rechte Herzkammer als wesentlich in Betracht zu ziehen ist, die deren Füllung zwar erleichtert, deren Entleerung aber erschwert. Siehe auch Tigerstedt: Über den Lungenkreislauf. Skand. Arch., XIV, p. 286, und die einschlägigen Arbeiten Kronecker's und seiner Schüler, auf die später eingegangen werden soll.

[2] Auch wenn man an die Wirkung des Kohlensäurereizes denkt, kann man sich sehr wohl eine Erklärung des Verhaltens im Sinne dieser Annahme konstruieren, daß man annimmt, daß jene Partien der Lunge, die sich nicht oder nur ungenügend entfalten, von venösem Blut durchströmt werden, das nur Weniges von seinem Kohlensäuregehalt verliert. Das dem Gehirn zugeführte Blut müßte daher nicht nur sauerstoffärmer, sondern auch kohlensäurereicher sein und so aus doppelten Gründen zu vermehrter Ventilation infolge Reizung des Atemzentrums führen, die ihrerseits ein Sinken der alveolaren Kohlensäuretension und ein Steigen der Sauerstofftension auslöst.

Während der Teildruck des Sauerstoffes und der Kohlensäure in der Lunge bei uns ganz gesetzmäßig absank, je größer die Höhe war, in der wir uns aufhielten, erfuhr der Prozentgehalt der Lungenluft in den verschiedenen Höhen nur eine geringe Verschiebung, wie dies die voranstehende Tabelle zeigt. Nur bei Rainer sind die Abweichungen recht beträchtliche. Bei Reichel schwanken die Werte für den Prozentgehalt an Sauerstoff von 15·00 bis 14·5%, wenn man vom Winterversuch in Wien absieht, und bei Durig beträgt der Unterschied im Durchschnitte ebenfalls kaum ein ganzes Prozent, ja im Bückversuch auf dem Monte Rosa ist der Prozentgehalt an Sauerstoff ganz analog jenem, der in Wien beobachtet wurde. Bei Kolmer und bei Rainer übersteigen die Unterschiede im Prozentgehalt der Lungenluft bereits $1^1/_2$%.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß der Prozentgehalt der Lungenluft an Kohlensäure und Sauerstoff an und für sich ohne jeden Einfluß auf die Spannungsdifferenz zwischen den Blutgasen und den Lungengasen ist und daß ein Bild über die Bedingungen des Gasaustausches nur der Teildruck der einzelnen Gase geben kann, immerhin bleibt es aber merkwürdig, daß die prozentische Zusammensetzung des Lungengases nur eine so geringfügige Verschiebung zeigt. Wie an späterer Stelle nachgewiesen werden soll, handelt es sich hiebei aber nur um eine sekundäre Erscheinung, die im Gefolge der gebieterisch durch die Folgen des Sauerstoffmangels ausgelösten Mehrventilation eintritt. Durch sie wurde bei uns das geförderte Volum derart gesteigert, daß nach Deckung des Sauerstoffbedarfes noch ein analoger Bruchteil von Sauerstoff im Exspirationsgemisch zurückbleibt wie in der Ebene, dem allerdings bei dem niedrigen Barometerstande eine viel geringere Tension entspricht. Dieselbe Menge von Kohlensäure, die auch in der Ebene abventiliert wird und die nun im Höhenklima einen größeren Raum (auf dem Monte Rosa nahezu den doppelten Raum) einnimmt, verteilt sich deshalb auf das entsprechend vermehrte Luftvolum, so daß der Prozentgehalt konstant bleiben muß, wenn die Ventilationssteigerung bei gleicher Höhe der Verbrennungsvorgänge das Absinken des Luftdruckes kompensiert hat. Das gegenseitige Verhalten zwischen dem Prozentgehalt von Kohlensäure und Sauerstoff ist im übrigen ja ein gegebenes und durch den respiratorischen Quotienten festgelegt.

Um das Verhältnis zwischen Ventilation und Gasspannung zu kennzeichnen, wurde auch das pro Millimeter alveolarer Sauerstoff und Kohlensäuretension geatmete Volum berechnet, worüber folgende Tabellen einen Überblick geben:

XXIV. Pro Millimeter alveolarer Kohlensäurespannung geatmet *cm³* Luft.

Ort	Seehöhe *m*	Durig		Kolmer		Rainer		Reichel	
		beob-achtet	reduziert	beob-achtet	reduziert	beob-achtet	reduziert	beob-achtet	reduziert
Wien S.	150	202·7	180·0	199·6	182·1	234·2	207·4	210·9	190·4
W.		176·4	162·7					203·8	188·1
F.		183·9	173·8	219·1	203·4	207·7	194·3	174·9	161·0
Semmering	1000	234·0	199·2					205·9	174·4
Alagna	1190	235·8	194·2	274·0	216·0	250·0	199·2	217·0	172·7
Monte Rosa I	4560	507·6	280·7	461·4	255·8	463·9	255·7	558·6	316·9
» II		468·9	256·9	480·6	261·4	396·5	215·3	501·2	271·2
Monte Rosa Zuckerversuch I		463·7	256·4						
» » II		457·7	258·2						
Monte Rosa nach Märschen		539·1	305·1	549·2	305·9	471·3	263·3	655·9	343·3
» Bückversuche		734·7	400·0						

XXV. Pro Millimeter alveolarer Sauerstoffspannung geatmet *cm*³ Luft.

Ort	Durig		Kolmer		Rainer		Reichel	
	beob-achtet	reduziert	beob-achtet	reduziert	beob-achtet	reduziert	beob-achtet	reduziert
Wien S.	59·9	53·5	61·4	56·5	67·6	60·2	70·5	63·5
W.	53·2	49·1					66·9	61·6
F.	50·8	52·7	66·1	61·1	61·8	56·4	63·4	58·4
Semmering	68·3	57·7					75·1	63·6
Alagna	66·7	53·1	91·1	71·9	80·0	63·0	81·9	64·7
Monte Rosa I	174·0	96·2	187·5	104·1	179·8	100·2	199·6	113·4
» II	172·5	94·0	185·1	100·5	174·4	94·7	190·1	102·8
Zuckerversuch I	182·5	98·3						
» II	181·8	100·9						
nach Märschen	180·9	101·8	207·9	115·8	191·1	105·1	215·7	120·1
Bückversuche	219·8	119·6						

Das pro Millimeter Kohlensäuretension geatmete Volum steigt um so mehr an, je höher die Station gelegen war. Das Absinken des Kohlensäuredruckes einerseits, das Ansteigen der Ventilation andrerseits bedingen es, daß die Ausschläge ungemein auffallend werden und die Werte auf dem Monte Rosa bis nahezu das Dreifache von jenen, die in der Ebene beobachtet wurden, betragen. Der Wert für das reduzierte Volum, das pro Millimeter Kohlensäurespannung geatmet wurde, bleibt natürlich weit hinter dem Wert für das unreduzierte Volum zurück, nichtsdestoweniger bleibt aber der Zuwachs an Ventilation in allen Posten der Tabelle erkennbar.

Dasselbe, was für das Verhältnis zwischen Kohlensäuretension und Ventilation gilt, ergibt sich auch bei Betrachtung der Ventilation pro Millimeter Sauerstoff. Schon in 1000 *m* Höhe ist die Zunahme der Ventilation pro Millimeter O_2-Tension ausgesprochen und auf dem Monte Rosa ist diese auf fast das Vierfache unreduziert — auf ungefähr das Doppelte reduziert — angestiegen.

Diese Verhältnisse weisen daher darauf hin, daß bei uns allen in jeder Höhenstation wohl eine annähernd gleichgroße Ventilation pro Millimeter O_2- und CO_2-Tension zustande kam, also die Reize auf das Atemzentrum recht gleichartig bei allen gewirkt haben, daß aber die Ventilation für das Einhalten gleicher Kohlensäuretension in der Höhe zu groß, in Bezug auf das Einhalten gleicher Sauerstofftension aber zu klein war. Jene Zahl, welche die größere Menge Luft bezeichnet, die für das Millimeter Spannung geatmet werden mußte, ist eigentlich nur ein umschriebener Ausdruck für das Absinken des Totaldruckes, das bei gleichem oder nur wenig verändertem Prozentgehalt der Alveolarluft an Kohlensäure oder Sauerstoff zu einem Absinken der Teildrücke dieser Gase in der Lunge beim Aufenthalte im Höhenklima führen muß. Hinsichtlich der Kohlensäure wäre ein Einhalten des gleichen Druckes in der Lungenluft auf dem Monte Rosa ja nur dann denkbar, wenn der CO_2-Prozentgehalt in der Alveolarluft auf ungefähr das Doppelte von jenem in der Ebene, also auf 8 bis $10^0/_0$ gestiegen wäre, während selbstverständlich ein Erreichen eines Druckes von 105 *mm* Hg Sauerstoff auf dem Monte Rosa auch bei forziertestem Atmen unmöglich ist.

In den Versuchen von Ward ist darauf hingewiesen, daß nach dem Abstieg aus der Hochregion — Ward untersuchte die Verhältnisse nach dem Abstieg vom Monte Rosa und vom Weißhorn in Zermatt — anfänglich in der Talstation derselbe niedere Kohlensäuredruck besteht wie im Hochgebirge, während der

Sauerstoffdruck nach der Rückkehr aus der Höhenstation wesentlich vermehrt gefunden wurde. Die Werte lauten in Millimeter Tension:

	CO_2	O_2
Zermatt vor dem Aufstieg	33·9—36·7 *mm*	76·8—84·9 *mm*
» nach dem Abstieg vom Monte Rosa . .	28·7—32·4	83·1—91·4
» » » » » Weißhorn . . .	28·3—32·6	87·2—93·7

Die niedersten Werte für die Kohlensäuretension und die höchsten für die Sauerstofftension wurden unmittelbar nach dem Abstieg beobachtet; im selben Sinne bestand aber die Veränderung auch nach drei Tagen noch fort.

Wir konnten an uns eine einheitlich in gleicher Weise ausgesprochene Gesetzmäßigkeit nicht beobachten. Bei Reichel trat nach der Rückkehr vom Semmering nach Wien eine Steigerung der Kohlensäurespannung und eine Abnahme der Sauerstoffspannung auf.[1] Bei Durig blieben die Werte annähernd konstant, hinsichtlich der Wirkung des Abstieges vom Monte Rosa fehlen uns Parallelbestimmungen in Alagna vor dem Aufstieg, es steht aber für uns in Analogie mit dem Semmering- und Wiener Versuch, beziehungsweise dem Gipfelversuch fest, daß die Tension der Kohlensäure in keinem Falle auch nur annähernd auf der Höhe des Wertes, den wir am Monte Rosa beobachtet hatten, verblieben ist. Bei uns allen stieg die Tension der CO_2 auf Werte, die wir als ganz für Alagna angemessene bezeichnen müssen, bei Durig und Reichel liegen sie fast genau in der Höhe des Wertes vom Semmering. Da das Verhalten des Sauerstoffes schon durch die Höhe der gleichbleibenden respiratorischen Quotienten in Zusammenhang mit jenem der Kohlensäure steht, so ist es selbstverständlich, daß sich demnach auch die Sauerstofftension in ganz normalen Grenzen bewegt haben müsse. Ein Blick auf Tabelle XXI[2] bestätigt diese Annahme.

Es kann daher von einer Allgemeingültigkeit einer Verminderung der Kohlensäuretension und Steigerung der Sauerstoffspannung in der Lunge nach der Rückkehr aus dem Gebirge nicht gesprochen werden. Inwieweit individuelle Unterschiede oder die Verschiedenheit der Methodik an dem abweichenden Resultate schuldtragend sind, muß erst festgestellt werden.

4. Die Gasspannungen in der Lunge bei der Arbeit.

Als direkt vergleichbar möchten wir in diesem Abschnitte auch nur jene Versuche in Diskussion stellen, bei denen die Arbeitsleistung eine gleichartige und gleich große gewesen ist, es wurde aber schon früher erwähnt, daß dieser Forderung nur wenige Beobachtungen gerecht geworden sind. Den älteren Monte RosaVersuchen stehen keine Parallelversuche auf Schnee gegenüber und den Horizontalmarschversuchen in der Ebene fehlen als Ergänzung die Horizontalmärsche unter gleichartigen Verhältnissen im Hochgebirge. Von den Versuchen in der pneumatischen Kammer, insbesondere von den kurz dauernden Versuchen, ebenso jenen, die im Luftballon unter ganz anderen Bedingungen als im Hochgebirge ausgeführt wurden, kann an dieser Stelle wohl abgesehen werden. Eine Reihe sehr gut miteinander vergleichbarer Versuche stammt von Zuntz und seinen Mitarbeitern von Brienz und vom Rothorn, denen wir allerdings die Marschversuche auf der Tretbahn in Berlin, da diese nicht direkt vergleichbar sind, nicht gegenüberstellen möchten. Es können wohl auch die älteren Monte Rosa-Versuche von Zuntz und Schumburg, wie Loewy und dessen Mitarbeitern entfallen, da die Wegbeschaffenheit, wie an früherem Orte erwähnt, keine vergleichbare war. Bezüglich des Horizontalmarsches seien die Versuchsreihen in der Capanna Margherita, auf Col d'Olen und auf der Sporneralpe als Vertreter derartiger Beobachtungen unter großer Reserve angeführt.

---

1 Siehe Tabellen XVIII und XXI.

2 Siehe Tabelle XXI, Spalte Alagna und Wien.

XXVI. Gastensionen in Brienz und auf dem Brienzer Rothorn 1901.

Name	Ort	Meereshöhe *m*	Steigarbeit Mittel *mkg* pro Min	Alveolare Spannung bei der Arbeit		Alveolare Spannung in der Ruhe	
				O_2	CO_2	O_2	CO_2
Waldenburg	Brienz	500	475·5	92·2	45·0	84·5	44·5
	Rothorn	2130	559·3	75·0	42·9	68·5	36·1
Kolmer	Brienz	500	880·0	99·9	37·4	94·0	38·2
	Rothorn	2130	793·3	79·7	37·6	66·6	38·8
Caspari	Brienz	500	778·9	90·2	39·0	80·7	46·6
	Rothorn	2130	712·3	76·1	32·0	64·3	40·3
Müller	Brienz	500	636·2	95·2	41·3	88·5	40·3
	Rothorn	2130	717·2	91·3	38·3	62·0	37·6
A. Loewy	Brienz	500	625·9	92·4	35·3	86·7	41·3
	Rothorn	2130	573·2	75·9	31·9	66·7	38·8
Zuntz	Brienz	500	597·2	91·2	36·7	91·8	38·5
	Rothorn	2130	597·7	80·7	28·3	71·9	32·6

Bei den Teilnehmern an der Expedition des Jahres 1901 stieg die alveolare Sauerstoffspannung bei der Arbeit mit Ausnahme des einzigen Zuntz bereits in Brienz wesentlich über den Ruhewert an. Noch ausgesprochener war dies Verhalten auf dem Rothorn, ja Müller wies dort sogar eine fast gleich hohe Gasspannung auf wie in dem 1700 *m* tiefer gelegenen Brienz. Im Gegensatz dazu war aber die Kohlensäuretension in den Arbeitsversuchen fast stets niedriger geworden oder doch konstant geblieben, es hatte also bei allen diesen Versuchspersonen eine Überventilation bei der Arbeit stattgefunden, die den Verbrauch an Sauerstoff, beziehungsweise die gesteigerte Kohlensäureproduktion überkompensierte. Dasselbe beob-

XXVII. Gasspannungen beim Horizontalmarsch.

Name	Ort	Weg in *m*	Beim Horizontalmarsch		Bei Körperruhe	
			Sauerstoffspannung in Millimeter O_2	Kohlensäurespannung in Millimeter CO_2	O_2-Spannung	CO_2-Spannung
Durig	Wien [1]	72—152	105·2	34·7	108·7	32·0
	Semmering	100—110	92·8	31·9	99·2	29·2
	Sporner Alpe	88—99	92·2	27·5	92·4	27·0
	Col d'Olen	57—95	66·0	27·0	63·2	28·9
	Capanna Margherita	66—91	55·0	21·0	53·2	24·1

[1] Der Wert vom Jahre 1903 lautet für den Horizontalmarsch Durig's ganz analog 105 *mm* O_2- und 33·6 *mm* CO_2-Tension gegenüber 109 *mm* O_2 und 31·8 *mm* CO_2 in Körperruhe.

achteten Zuntz und Durig auch im Jahre 1903 an Zuntz, während Durig sich gerade entgegengesetzt verhielt. Unsere neuen Versuche, wie die Beobachtungen, die Durig auf der Sporner Alpe anstellte, bestätigen nun vollständig das an Durig beobachtete Resultat, so daß sich zwischen uns und den damaligen Versuchspersonen hinsichtlich der Atemmechanik beim Marsch tatsächlich ein auf dem individuellen Verhalten beruhender durchgreifender Unterschied [1] ergibt.

Schon die Betrachtung der Verhältnisse beim Horizontalmarsch ergibt, daß bei Durig die Sauerstoff- wie die Kohlensäurespannung in den Alveolaren bei dieser Arbeit nahezu dieselbe war wie bei vollkommener Körperruhe; selbst in der Capanna Margherita finden wir bei ihm keine Abweichung, welche die normalen Schwankungen übersteigen würde, am Semmering ist sogar eher eine Abnahme des Sauerstoffdruckes zu beobachten gewesen, der eine geringe Zunahme desselben auf Col d'Olen in allerdings nicht ganz einwandfreien Versuchen gegenübersteht.

XXVIII.

Name	Ort	Weg in *m*	Beim Horizontalmarsch		Bei Körperruhe	
			Sauerstoffspannung in Millimeter O_2	Kohlensäurespannung in Millimeter CO_2	CO_2-Spannung	CO_2-Spannung
Reichel	Wien	49—100	103·6	37·2	103·7	34·6
	Semmering		88·8	33·3	93·4	34·0
Kolmer	Wien	49—109	105·5	31·8	105·3	32·8
Rainer	Wien	47—129	102·4	36·0	106·5	31·3

Auch Reichel, Rainer und Kolmer zeigen eher die Tendenz zu einer Abnahme der Sauerstofftension bei der Arbeit als zu einer Zunahme, während umgekehrt die Kohlensäurespannung bei Reichel und Rainer in Wien eher zu höheren Werten gravitiert.

Die Tatsache, daß auch beim Marsch bei weiterem Vordringen in größere Höhe die Sauerstoff- und Kohlensäurespannung in der Lunge stetig abnimmt, hat im Bilkengratversuch von Durig eine eindeutige Illustration erfahren. Hundert für hundert Meter Steigung hatten schon ein nachweisliches Absinken der O_2- und CO_2-Tension in der Lunge zur Folge, in keinem Falle war aber die Sauerstofftension bei der Arbeit merklich über die Tension bei Körperruhe gestiegen und selbst der geringe Ausschlag nach oben, der in den der Tabelle angefügten Mittelwerten der Monte-Rosa-Versuche gefunden wurde, ist nicht einmal im Sinne einer Zunahme beweiskräftig. Da wir beim Marsch auf Schnee in Wien eine nennenswerte Abnahme der Sauerstofftension beobachteten und die geringe Zunahme im Mittelwert der Arbeitsversuche auf dem Monte Rosa sowohl im Jahre 1903 wie im Jahre 1906 beobachtet wurde übereinstimmend mit der beim Horizontalmarsch auf dem Monte Rosa ermittelten geringfügigen Erhöhung, so kann man doch an das Bestehen einer gewissen Gesetzmäßigkeit in dem Sinne denken, daß in großen Höhen auch bei Durig eine Überventilation beginnt. Diese war niemals so groß, daß sie zu einem Absinken der Kohlensäurespannung unter den Ruhewert Anlaß gegeben hätte.

Reichel, Kolmer und Rainer gingen in Wien auf ansteigender Bahn bei ausgesprochenem Absinken der Sauerstofftension, und zwar sowohl im Sommer- wie im Winterversuch. Ganz aus der Reihe fällt der bei Rainer während eines Unwohlseins ausgeführte Marschversuch auf Schnee in Wien. Hiebei

[1] Siehe auch Pflüger's Arch., Bd. 113, p. 313.

XXIX. Durig, Gastensionen beim Steigungsmarsch in verschiedener Höhe.

Ort	Meereshöhe in *m*	Steigarbeit in *mkg* pro Minute	Alveolare Spannung bei der Arbeit		Alveolare Spannung in Körperruhe	
			O_2	CO_2	O_2	CO_2
Wien, Sommer	150	934	106·3	37·0	108·7	32·0
Wien auf Schnee	150	666	103·0	37·1	109·8	33·4
Bilkengrat[1]	1790	800—900	85·1	29·7	92·4	27·0
	1960	800—900	80·7	29·1		
	2240	800—900	78·3	28·0		
	2440	800—900	75·5	28·1		
Capanna Margherita[2]	4560	300—400	55·0	24·2	53·2	24·1
» » [3]	4560	500	59·6	23·5	56·7	21·0

[1] Der Ruhewert entspricht der niedriger gelegenen Sporner Alpe.

[2] Versuch 1903.

[3] Versuch 1906.

XXX. Gasspannungen beim Marsch auf ansteigender Bahn.

Name	Ort und Zeit	Steigarbeit	Beim Marsch Spannung der		In Ruhe Spannung der	
			O_2	CO_2	O_2	CO_2
Kolmer	Wien, Sommer	698·7	103·7	33·5	105·3	32·8
	Winter	783·2	102·3	34·8	110·1	33·2
	Monte Rosa	482·9	59·5	23·2	56·9	22·0
	» 1905	337·2	56·9	23·9		
Rainer	Wien, Sommer	759·1	98·0	38·6	106·5	31·3
	Winter	586·1	68·8	62·9	109·8	32·7
	Monte Rosa	474·8	55·2	28·1	53·9	23·7
Reichel	Wien, Sommer	1053·1	98·7	36·7	103·2	34·6
	Winter	855·7	98·5	39·9	105·9	35·1
	Monte Rosa	475·5	60·2	23·5	56·6	21·5

sank die Gasspannung für den Sauerstoff auf einen Wert ab, der nahezu so niedrig ist wie jener, den wir bei Kolmer und Reichel auf dem Monte Rosa feststellten; dabei erreichte die Kohlensäurespannung den exzessiven Wert von 62·9 *mm*. Auf dem Monte Rosa ist bei Kolmer, Rainer und Reichel ebenfalls eine geringe Zunahme des Sauerstoffdruckes bei der Arbeit zu beobachten gewesen, die sich in ähnlichen Grenzen hält wie bei Durig; durchgehends liegt die Kohlensäurespannung im Arbeitsversuch höher als im Ruheversuch.

Das Verhalten Kolmer's, ist wie die Tabelle XXX besagt, auch hinsichtlich der Gastension bei der Arbeit ein ganz analoges wie bei uns und wir finden abermals nicht den geringsten Anhaltspunkt, der auf seine auffällige Schweratmigkeit, die bei anstrengenden Marschleistungen speziell auf dem Monte Rosa bei ihm stets ausgesprochen war, hindeuten würde. Auch zwischen dem Bestehen der Bergkrankheit und den Gastensionen bei der Arbeit lassen sich keinerlei, auch nur vermutungsweise namhaft zu machende Beziehungen aufstellen.

Berechnet man das pro Minute und pro Millimeter alveolärer Gasspannung geatmete, reduzierte und nichtreduzierte Volumen, so gewinnt man auch bei der Arbeit einen Einblick in die Mächtigkeit der Reize, die anregend auf die Ventilation gewirkt haben. Natürlich spielen auch hiebei die Leistungen eine wesentliche Rolle.

Bei den Teilnehmern an der Expediton des Jahres 1901 schwankt das bei Muskelarbeit pro Millimeter CO_2-Tension geförderte (unreduzierte) Volum[1]

in Brienz von . . . . 500 bis 1100 cm^3
auf dem Rothorn von . . . . 600 » 1100
auf dem Monte Rosa von . . . . 1600 » 1960

Die Zahlen müßten aber erst gesondert für gleiche Arbeitsleistungen berechnet werden, um einen Vergleich über den Einfluß der Höhenstation auf die Ventilation im Verhältnis zu den Gasspannungen zu ermöglichen.

Bei annähernd gleichgroßer Steigarbeit in den einzelnen Versuchsstrecken ergibt sich, daß das Vordringen in größere Höhen bei der Arbeit, ebenso wie dies bei der ruhenden Versuchsperson der Fall ist, von einem Ansteigen der Ventilation pro Millimeter Kohlensäurespannung begleitet ist.[2] Als Beleg mögen die Versuche Durig's von der Sporner Alpe angeführt sein (Werte in Kubikzentimetern pro 1 *mm* CO_2).

	Versuchsstrecke			
	I	II	III	IV
	1790 *m*	**1960** *m*	**2240** *m*	**2440** *m*
Versuch 20	1262	1265	1469	1549
» 24	1574	1572	—	1912
» 27	1574	1640	—	1744
» 32	1871	1965	1894	1909

Das Minutenvolum ist also im Verhältnis zur Kohlensäurespannung um so mehr angestiegen, je höher die Versuchsstrecke lag. An den einzelnen Versuchstagen sind wegen der verschiedenen Leistungen in derselben Versuchsstrecke die Werte nicht zu vergleichen. Es besagt zum Beispiel das Anwachsen der Ventilation in der ersten Versuchsstrecke von Versuch 20 bis 32, daß die Leistung gestiegen ist, dabei ist aber die Kohlensäureproduktion, bezogen auf dieselbe Leistung, gesunken (erhöhter Wirkungsgrad). Das Anwachsen der Ventilation mit dem Absinken des Luftdruckes spricht aber in demselben Sinne wie das Anwachsen der Ventilation mit der Zunahme der Leistung in derselben Meereshöhe, da die Steigerung der Leistung ebenso zu einer Verminderung des Sauerstoffgehaltes im Blut und zur vermehrter Bildung von Stoffen führt, die auf das Atemzentrum reizend wirken, nicht aber Kohlensäure sind.

Über die Größe der Ventilation in unseren neuen Versuchen, bezogen auf die Gasspannungen in der Lunge bei annähernd gleicher Arbeitsleistung, geben die folgenden Hilfstabellen Aufschluß. Zum Vergleich sind die Resultate von den mit den Gefühle gleicher Anstrengung[3] im Sommer in Wien ausgeführten Versuchen beigegeben.

---

[1] »Höhenklima und Bergwanderungen«, p. 328.

[2] Es soll damit keine allgemein gültige Gesetzmäßigkeit behauptet sein.

[3] also etwa derselben Bruttoarbeit beim Marschversuch auf Schnee entsprechenden.

XXXI. Pro Millimeter Kohlensäurespannung und pro Minute geatmet beim Marsch auf ansteigender Bahn *cm*³.

Ort	Durig			Kolmer			Rainer			Reichel		
	Leistung *mkg*	beobachtet	reduziert	Leistung *mkg*	beobachtet	reduziert	Leistung *mkg*	beobachtet	reduziert	Leistung *mkg*	beobachtet	reduziert
Wien, Sommer	934	1319	1182	699	1235	1097	791	878	768	1053	1287	1141
» Winter	666	941	911	783	1409	1368	587	545	231	857	1102	1054
Monte Rosa	524	2369	1340	482	2377	1349	478	1661	931	476	2248	1216

XXXII. Pro Millimeter Sauerstoffdruck und pro Minute geatmet beim Marsch auf ansteigender Bahn *cm*³.

Ort	Durig		Kolmer		Rainer		Reichel	
	beobachtet	reduziert	beobachtet	reduziert	beobachtet	reduziert	beobachtet	reduziert
Wien, Sommer	458	413	398	358	341	302	493	442
» Winter	338	327	478	464	478	468	445	425
Monte Rosa	932	515	920	520	830	460	848	471

Wie die Tabellen zeigen, ist die Ventilation auf dem Monte Rosa pro Millimeter Gasspannung auf das Zwei- bis Dreifache erhöht gewesen, obwohl die Arbeit auf dem Gipfel unzweifelhaft eine ungleich geringere war als in der Ebene auf Schnee. Das pro Millimeter Spannung geatmete, reduzierte Volum nähert sich aber auf dem Gipfel wieder sehr jenem in der Ebene, was besonders bei Reichel der Fall ist. Bei ihm ist auch die prozentuelle Zusammensetzung der Alveolarluft auf dem Monte Rosa kaum gegen Wien verändert (Tabelle XXXIII); wesentlich weicht diese nur bei Rainer von den im Winter in Wien gefundenen

XXXIII. Prozentgehalt der Alveolarluft.

Ort	An Kohlensäure				An Sauerstoff			
	Durig	Kolmer	Rainer	Reichel	Durig	Kolmer	Rainer	Reichel
Wien, horizontal	4·98	4·63	5·20	5·34	15·11	15·38	14·72	14·94
Semmering »	5·03			5·33	15·05			14·23
Wien, Sommer, Steigung	5·36	4·92	5·71	5·61	15·40	15·36	14·50	14·62
» Winter, »	5·38	5·08	9·04	5·84	14·74	14·94	9·89	14·37
Monte Rosa, »	5·78	5·59	6·88	5·74	14·58	14·57	13·52	14·76

Größen ab. Es findet sich also auch während der Arbeit bei uns ein ähnliches Verhalten in der Zusammensetzung der Alveolarluft wie in Körperruhe. Bei Rainer bildet der schon wiederholt erwähnte Winterversuch während des Unwohlseins eine Ausnahme. Der hohe Prozentgehalt an Kohlensäure, der niedere Prozentgehalt an Sauerstoff in seiner Lungenluft beweisen, daß seine Atmung während der Märsche in Wien auf dem Schnee eine ganz abnorme war.

Diese bei einem Unwohlsein während des Gehens aufgetretenen, auffallenden Erscheinungen in bezug auf die Zusammensetzung seiner Lungenluft und die in den Alveolen herrschenden Gasspannungen deuten darauf hin, wie etwa die Verhältnisse dann liegen, wenn beim forciertem Aufstieg auf einen niedrig gelegenen Gipfel Unwohlsein bei verflachter, beschleunigter Atmung eintritt. Die Lage der Verhältnisse läßt es erklärlich scheinen, daß dann Symptome auftreten, die mit denjenigen, die man während der Bergkrankheit in eigentlichen Hochregionen beobachtet, vollkommen übereinstimmen.

Es ist ja selbstverständlich, daß bei so niederem Sauerstoffdruck in der Alveole, wie er bei Rainer in der Ebene bestand (68 *mm*), aber bei einer Kohlensäuretension in der Lungenluft von 63 *mm*, die prozentische Sättigung des Hämoglobins mit Sauerstoff bis auf etwa 70% abgesunken sein muß, während diese bei 20 *mm* Kohlensäurespannung und 57 *mm* Sauerstoffspannung, wie wir dies auf dem Monte Rosa beobachteten, noch über 80 Prozent erreichen kann. Es liegen daher in einem solchen Falle während einer Arbeitsleistung die Verhältnisse in der Ebene sogar noch günstiger für das Auftreten effektiven Sauerstoffmangels und dessen Folgen oder — wenn man dies so bezeichnen will — von Bergkrankheit, wie auf dem Monte Rosa, und es kann keineswegs wundernehmen, wenn ungeübte Berggänger, die vorerst einen Anstieg in einem ihre Kräfte übersteigenden Maße forcieren und dann unter Ermüdung ihrer Atemmuskulatur flach und frequent zu atmen beginnen, von Unwohlsein oder zum mindesten Unbehagen befallen werden. Treten dann als weitere Folge in einem solchen Falle sogar die Erscheinungen von Bergkrankheit in Höhen auf, die noch weit unter 2000 *m* liegen, so dürfte hiebei vielfach der ausgesprochene Sauerstoffmangel ganz wie in Höhen über 4000 *m* die Ursache sein.

Es ist die Tatsache, daß solche Erkrankungen sich recht häufig bei Personen finden, die an einem heißen Tage den Aufstieg zu einer Schutzhütte ausführen, ein Hinweis darauf, daß auch die Temperatur dabei eine ganz wesentliche Rolle spielt. Wie an früherer Stelle hervorgehoben, tritt bei der Arbeit unter Umständen eine ganz wesentliche Erhöhung der Körpertemperatur und der Bluttemperatur ein; diese wird sich umso bemerkbarer machen, wenn der Wassergehalt des Körpers durch übermäßiges Schwitzen im Beginne eines Anstieges vermindert und die Möglichkeit weiterer Wärmeregulation durch Wasserverdunstung wesentlich eingeschränkt ist. Mit steigender Temperatur nimmt aber die Dissoziationsspannung weiter zu, wodurch die Sättigung des Blutes mit Sauerstoff noch auf niederere Werte, als sie schon durch die flachere Atmung allein herabgedrückt werden würde, absinkt.

Es ist selbstverständlich, daß ein Unwohlsein, das primär besteht, wie dies bei Rainer der Fall war, und durch eine Störung im Magen-Darmkanal oder durch Störungen von Seite des Zirkulationsapparates ausgelöst ist, das Zustandekommen von Sauerstoffmangel nur noch weiter begünstigen kann. Anderseits ist es aber sicher, daß gerade der eintretende Sauerstoffmangel auf jene Organe zuerst rückwirken wird, die sich in einem abnormalen Zustand befinden, so daß offenkundige Störungen von seiten derselben beobachtet werden (Erbrechen, Herzklopfen, Dilatatio cordis etc.), also sekundär ein Unwohlsein entsteht, das weiterhin das Auftreten von Sauerstoffmangel bei fortdauernder Arbeit nur noch mehr begünstigt.

Blicken wir nochmals auf das Verhalten der Alveolartension bei der Arbeit zurück, so ergibt sich, daß die gewiß leistungsfähigeren Personen, die im Jahre 1906 von uns untersucht wurden, wie auch Durig auf der Sporner Alpe die Ventilation bei der Arbeit nur in dem Maße steigerten, daß die alveolare Sauerstoffspannung, die sie in derselben Höhe in Körperruhe aufwiesen, nahezu ganz oder ganz erreicht wurde, sie sind daher mit den Ausgaben für die Atemarbeit relativ sparsamer gewesen als die weniger geübten Personen und es ist bemerkenswert, daß die geringere Höhe der Sauerstoffspannung in den Lungen bei der Arbeit sie deshalb keineswegs weniger leistungsfähig gemacht hat, ja daß sie im Gegenteile viel größere Arbeiten pro Sekunde auszuführen imstande waren als jene.

Auch die Übung und das Training hatte bei Durig keinen Einfluß auf die Höhe der Sauerstofftension, denn diese ist in gleichen Höhen bei ihm stets dieselbe geblieben, ob er nun trainiert war oder nicht. So war die Sauerstoffspannung bei der Arbeit auf dem Monte Rosa bei ihm im Jahre 1903 in untrainiertem Zustande dieselbe wie 1906 in vollem Muskeltraining. Auch auf der Sporner Alpe stellte sich bei den einzelnen während des Trainings ausgeführten Versuchsmärschen in jeder Höhenlage die

Gasspannung in der Lunge immer wieder auf dasselbe Niveau ein, obwohl die Leistungen ganz verschieden waren, so zum Beispiel in der I. und IV. Versuchsstrecke:

In 1790 *m* Höhe	In 2440 *m* Höhe
84·4 *mm* O_2-Tension	74·2 *mm* O_2-Tension
86·3	76·7
84·7	75·9
85·0	75·0

Es bestand also von seiten des Organismus keineswegs das Bestreben, durch ein Höherrücken der alveolaren Sauerstoffspannung die Leistungsfähigkeit zu steigern. Dieses Verhalten besagt neuerdings, daß die Annahme eines allgemein gültigen, gesetzmäßig stattfindenden Anpassungsvorganges nicht zu Recht besteht. Es mag immerhin Personen geben, bei denen solche Anpassungen sich ausbilden, bisher ist jedoch kein einziger zwingender Beweis für eine solche Ansicht erbracht worden, wogegen wir glauben, einwandfrei gezeigt zu haben, daß es Personen gibt, bei denen selbst auf dem Monte Rosa im Verlaufe eines lange dauernden Aufenthaltes noch gar keine weitere Anpassung der Atemmechanik an die Wirkung des Höhenklimas eintritt.

Es ist an der Hand unsererer Versuche noch zu erörtern, ob das Absinken des Sauerstoffdruckes im Hochgebirge bei uns ein derartiges war, daß wirklich Sauerstoffmangel bestand, und ob wir Hinweise darauf besitzen, daß die Deckung des Erfordernisses an Sauerstoff nicht mehr durch den Gasaustausch infolge der Spannungsdifferenzen der Gase erfolgen konnte. Die Frage geht also dahin, ob auf Grund aktiver Zellarbeit ein Übertritt von Gas angenommen werden muß und ob wir der Annahme einer Sekretion von Sauerstoff und Kohlensäure bedürfen, um die Verhältnisse erklären zu können.

In bezug auf die Versuchsperson Kolmer hat Bohr auf Grund des Verhaltens Kolmer's bei Märschen auf dem Monte Rosa im Jahre 1901 bereits eine Berechnung[1] angestellt, die dahin lautet, daß die damals während des Marschierens pro Minute von ihm aufgenommene Sauerstoffmenge von 1520 cm^3 nicht auf dem Wege einfachen Übertrittes des Sauerstoffes auf Grund der Spannungsdifferenzen zwischen den Blutgasen und dem Alveolargase zustande gekommen sein könne, sondern daß aktive Zelltätigkeit hiebei im Spiel gewesen sein müsse, und zwar in solchem Ausmaße, daß mindestens 608 cm^3 Sauerstoff, das ist 40% der gesamten aufgenommenen Sauerstoffmenge, mittels direkter Wirkung der Zellen durch die Alveolarwand geschafft worden seien.

In einer späteren Veröffentlichung[2] hat Bohr dann diese Berechnung modifiziert unter der Voraussetzung, daß das Diffusionsvermögen der bei der Arbeit entfalteten Lunge ein wesentlich größeres ist. Es hatte sich nämlich in seinen Versuchen über die Einatmung von Kohlenoxydgas gezeigt, daß bei willkürlicher oder unwillkürlicher Steigerung der Atemtiefe wesentlich größere Mengen von Kohlenoxydgas die Lunge passieren als bei ruhiger Atmung. Bohr berechnete auf Grund der erhöhten Diffusion, daß 575 cm^3 infolge von aktiver Zelltätigkeit übergetreten sein müssen. Bohr frägt sich nun, ob diese Zelltätigkeit darin bestanden haben kann, daß die Sauerstoffspannung des Blutes reguliert worden ist »und hiedurch einen so niederen Wert angenommen hat, daß die Druckdifferenz genügte, um die aufgenommene Sauerstoffmenge durch Diffusion zu befördern«.

Unter Annahme einer Veränderung der Druckdifferenz von 28 auf 45 *mm* kann tatsächlich der Übertritt von 1520 cm^3 erfolgen, ja bei weiterer — maximaler — Steigerung der Druckdifferenz könnten sogar 1924 cm^3 Sauerstoff pro Minute durch Diffusion übertreten. Bohr nimmt daher eine aktive Tätigkeit der Lunge bei der Sauerstoffaufnahme in dem Sinne an, daß die Lunge dann, wenn der Sauerstoffbedarf ein großer ist, gegenüber dem Blut, das sie durchströmt, die notwendige Druckdifferenz erzeugt, um den

---

[1] Skand. Arch., XXII, 1909, p. 279.

[2] Zentralbl. für Physiologie, XXIII, Nr. 12.

Übertritt hinreichender Gasmengen zu ermöglichen. Dagegen glaubt er, daß eine direkte Beförderung von Sauerstoff mit vorausgehender Bindung in den Zellen nicht stattfindet.

Wir glauben, auf Grund unserer neuen Versuche Bedenken gegen diese Berechnung erheben zu sollen. Der Sauerstoffbedarf, der pro Minute zu decken war, ist in den Versuchen, die wir neuerlich an Kolmer ausführten, unter sonst ganz analogen Bedingungen, wie in jenem Versuche, den Bohr der Berechnung zugrunde legte, nur noch wesentlich größer geworden und bis auf 1900 cm^3 pro Minute gestiegen, so daß für die Befriedigung dieses Sauerstoffbedarfes, der tatsächlich gedeckt wurde, die Sauerstoffspannung im Blute nahezu auf Null hätte erniedrigt werden müssen. Bei dem nur 60 *kg* schweren Durig, bei welchem wir eine geringere diffundierende Oberfläche annehmen müßten, langen wir aber mit der Erklärung Bohr's überhaupt nicht mehr aus.

Auch Durig hat bei einer alveolaren Sauerstoffspannung von 59·9 *mm* Sauerstoff noch einen Verbrauch von 1905 cm^3 Sauerstoff aufgewiesen, die pro Minute die Lungenwand passieren mußten, und dabei war die Leistung, die Durig während des Versuches ausführte, gewiß für ihn keine auch nur annähernd maximale und es ist anzunehmen, daß sein Sauerstoffverbrauch beim forcierten Gehen, besonders wenn er in der Atmung nicht durch Ventile und die Gasuhr behindert ist, sicherlich viel höhere Werte erreicht.

Es sei zum Beispiel erwähnt, daß Durig beim Aufstieg von der Gnifettihütte zum Gipfel (bei dem horizontale und sogar nach abwärts verlaufende Strecken zwischen den eigentlichem Aufstieg eingeschaltet sind, so daß die durchschnittliche Neigung eine geringere ist) 7 *m* Steigung pro Minute während mehr als zwei Stunden gegenüber 6·7 im Marschversuch zurücklegte. Bis zu einer maximal forcierten Leistung, die an die Grenze des für ihn Möglichen geht, dürfte aber bei Durig noch ein recht weiter Schritt sein.

Wir müssen also für die Erklärung des Vorganges der Deckung des Bedarfes an so großen Mengen von Sauerstoff wieder auf größere Werte für die Diffusionsgeschwindigkeit des Sauerstoffes durch die Lunge zurückgreifen und hiebei an die Resultate jener Versuche denken, die von Zuntz und Loewy an der Froschlunge ausgeführt wurden (Arch. f. Anatomie und Physiologie, 1904, p. 166), denn mit den von Bohr angenommenen Diffusionsgrößen, selbst jenen, die Bohr in seiner neuesten Publikation der Berechnung zugrunde legt, ist ein Auslangen für die Deckung eines so großen Sauerstoffbedarfes bei so niederem alveolären Druck nicht mehr zu finden und es müßte beim Zurechtbestehen eines so langsamen Übertrittes von Sauerstoff, wie dies Bohr annimmt, eine immer weiter fortschreitende Verarmung des Körpers an Sauerstoff eintreten, die in kürzester Zeit ein Absinken der Leistungsfähigkeit des arbeitenden Menschen herbeiführen würde. Ganz unerklärlich wäre es dabei, wie es Menschen möglich geworden ist, bis zu den höchsten Gipfeln der Erde vorzudringen. Ob die von Zuntz und Loewy gefundenen, Diffusionswerte zu große sind oder nicht (Bohr, Skand. Arch., Bd. XXII, p. 242 u. f.), wenn man die Resultate auf die Menschenlunge überträgt, möge heute noch dahingestellt bleiben. Es wird sich wohl erst durch weitere Experimente entscheiden lassen, wie groß das Diffusionsvermögen in der menschlichen Lunge ist, jedenfalls sind aber die von Zuntz und Loewy experimentell ermittelten Werte nicht annähernd um so vieles zu hoch, als man nach den Ausführungen Bohr's annehmen müßte.

Es kann nicht die Aufgabe dieses Aufsatzes sein, weitere theoretische Betrachtungen über die Wege, auf denen die Deckung des Sauerstoffbedarfes auf dem Monte Rosa stattfand, anzuführen, daher sei nur noch einer Tatsache gedacht, die sich dann ergibt, wenn man die Ventilationsgröße für den Kubikzentimeter Sauerstoffverbrauch, beziehungsweise Kohlensäureproduktion berechnet (Tabelle XXXIV).

Bildet man den Quotienten aus dem Minutenvolum in Kubikzentimetern und dem Sauerstoffverbrauch, beziehungsweise der Kohlensäureproduktion pro Minute, ausgedrückt in Kubikzentimetern, so ergibt sich in unseren Versuchen, daß diese Quotienten mit zunehmender Höhenlage anwachsen, was wohl nach dem bisher Gesagten selbstverständlich erscheint. Bezieht man aber den Sauerstoffverbrauch — und wir wollen nur diesen als im Höhenklima ausschlaggebend ins Auge fassen — auf das reduzierte Minutenvolum, so sieht man, daß die Gasmengen, welche für den Bedarf an 1 cm^3 Sauer-

stoff in der Ebene bei Körperruhe geatmet wurden, bei uns allen ganz andere sind als jene, die in irgend einer größeren Höhenlage bei der Arbeit oder auf dem Monte Rosa in Körperruhe geatmet wurden.

XXXIV. Pro cm^3 Sauerstoffverbrauch geatmetes Volum, reduziert.

Ort	Zustand	Durig	Reichel	Kolmer	Rainer
Wien	Ruhe	27·4	34·3	25·6	27·4
Monte Rosa	»	20·4	18·3	20·5	19·7
Wien	Arbeit	19·5	17·6	19·2	15·8
»	Arbeit (Schnee)	17·0	16·0	18·3	12·4
Monte Rosa	Arbeit	17·1	16·3	17·4	15·1

Zwischen den Größen, die für den Quotienten: »reduziertes Volum durch Sauerstoffverbrauch« bei den einzelnen Versuchspersonen gefunden wurden, bestanden in der Ebene Unterschiede von rund 12%. Bei Körperruhe, auf dem Monte Rosa beim Marschieren auf Schnee oder auf trockenem Boden in Wien wurden aber von uns allen fast die nämlichen Volumina geatmet. Ein kleines wenig höher liegen im Durchschnitt die von den Ruheversuchen auf dem Monte Rosa stammenden Quotienten eine auffallende Abweichung besteht aber nur beim Marschversuche, den Rainer in Wien auf Schnee ausführte. Sein Verhalten ist auch insoweit ein etwas anderes als jenes von uns übrigen, als er bei der Arbeit relativ[1] etwas weniger atmete als wir. Dies kann damit zusammenhängen, daß für ihn, wie er angab, die Widerstände des Respirationsapparates recht fühlbare waren, weshalb seine Atmung so wesentlich modifiziert gewesen sein dürfte.

Nichtsdestoweniger ist bei der Arbeit, die er im Sommer in Wien leistete, die Ventilation pro Kubikzentimeter Sauerstoffverbrauch fast genau die nämliche wie auf dem Monte Rosa.

Die Ventilation des bergkranken und weniger leistungsfähigen Kolmer wurde, wie die Tabelle zeigt, in ganz analoger Weise wie bei uns ausreguliert. Das von Kolmer pro Kubikzentimeter Sauerstoffbedarf geatmete' reduzierte Volum deckt sich nahezu vollständig mit jenem, das bei Durig während der Märsche auf Schnee in Wien und auf dem Monte Rosa gefunden wurde. Die Unterschiede in den Quotienten der Arbeitsversuche, die bei einer Person etwa 10% betragen mögen (Rainer, Winter ausgenommen), sind im Verhältnisse zu den gewaltigen Unterschieden in den Versuchsbedingungen bei Ruhe und Arbeit in der Ebene und in 4560 *m* Höhe geradezu verblüffend klein.

Es ist zu bedenken, daß die Arbeitsleistung im Ruheversuch auf dem Gipfel Null war, während sie im Sommerversuch in Wien bis auf ein Maximum von 1000 *mkg* pro Minute anstieg, im Arbeitsversuch auf dem Monte Rosa wieder auf die Hälfte absank. Auch die Größe des Sauerstoffverbrauches schwankte zwischen den einzelnen Beobachtungsreihen in einem gewaltigen Umfang, denn die Werte für diesen liegen zwischen einem Minimum von 260 cm^3 und einem Maximum von 2780 cm^3 und doch war die Ventilation den Umständen angepaßt eine derartige, daß die (reduzierte) Gasmenge, die pro Kubikzentimeter Sauerstoffbedarf geatmet wurde, eine konstante blieb.

Dieses Ergebnis deutet darauf hin, daß die Reize, die auf unser Atemzentrum in Wien bei Körperruhe wirkten, anderer Art gewesen sein müssen als beim Marsch in Wien und auf dem Monte Rosa[2] oder in Körperruhe auf dem Monte Rosa. In Wien wurde in Körperruhe relativ mehr ventiliert und eine leichte Erhöhung der Ventilation gegenüber den Arbeitsversuchen ist auch noch auf dem Monte Rosa ausgesprochen. Wir werden deshalb darauf geführt, daß der Reiz der Kohlensäure, der ja in der Ebene aus-

1 Bezogen auf den Sauerstoffverbrauch.

2 Auch aus den Bilkengratversuchen berechnen sich ähnliche Werte wie bei den Märschen in Wien und auf dem Monte Rosa.

schlaggebend für die Regulierung der Atmung ist, in Körperruhe zu einer Überventilation geführt hat, die man in einem gewissen Grade wirklich als eine Luxusatmung — allerdings nicht im Sinne der Mosso'schen Anschauung — bezeichnen kann. Wenn aber der Sauerstoffbedarf ein sehr großer oder aber das Sauerstoffanbot ein sehr geringes wurde, so hat sich die Ventilation in dem Ausmaße gesteigert, daß sich in der Zeiteinheit die Größe des Sauerstoffanbotes in der Lunge mit der Größe des Verbrauches in einem ganz bestimmten, gleichbleibenden Verhältnisse befand, das eben in den Quotienten der Tabelle XXXIV zum Ausdruck kommt. Es wurde also nach der Wirkung des Reizes, der im Gefolge des Sauerstoffmangels bestand, nicht aber nach dem Teildruck der Kohlensäure oder nach dem Kohlensäuregehalt in Blut und Geweben reguliert. Die Versuche geben auch einen Hinweis darauf, daß bei größerer körperlicher Arbeit auch in der Ebene trotz einer hohen Sauerstofftension in der Lunge eine Reizung des Atemzentrums durch die Folgen des mächtig gesteigerten Sauerstoffbedarfes stattfindet.

Es ist kaum anzunehmen, daß die Empfindlichkeit des Atemzentrums für die Reizung im Gefolge von Sauerstoffmangel bei allen Personen eine identische sei, wenigstens sprechen die wesentlichen individuellen Unterschiede in der Atemmechanik, die im voranstehenden besprochen wurden, in diesem Sinne. Ferner ist daran zu denken, daß eine teilweise Kompensation auch durch Veränderungen im Sauerstoffbindungsvermögen des Blutes im Hochgebirge[1] stattfindet, die aber ebenfalls sehr individuellen Schwankungen unterworfen sein dürfte. Wir werden deshalb nicht erwarten dürfen, daß etwa alle Personen, wie dies bei uns der Fall ist, gerade 16 bis 18 cm^3 Luft pro Kubikzentimeter Sauerstoffbedarf ventilieren werden, immerhin gibt aber dieses bei uns beobachtete Verhalten, das auch für die Versuche auf dem Bilkengrat zutrifft, eine neue Stütze für die Annahme, die von Zuntz und seinen Mitarbeitern bereits ausgesprochen wurde und die dann Durig auch am Schlusse seiner Abhandlung über die Versuche auf der Sporner Alpe betonte, daß die Kohlensäure jenen Reiz vorstellt, der in der Ebene in Körperruhe oder bei geringem Sauerstoffbedarf als ausschließlich wirksames, die Größe der Ventilation bedingendes Moment aufzufassen ist, während immer dann, wenn auf irgend eine Weise das Anbot an Sauerstoff erheblich vermindert wird oder der Verbrauch an Sauerstoff wesentlich steigt, im Gefolge von Sauerstoffmangel eine Reizung des Atemzentrums auftritt, die die Wirkung des Kohlensäurereizes ganz oder nahezu ganz ausschaltet.[2]

Durch den gebieterischen Impuls, dem drohenden Sauerstoffmangel zu steuern, sinkt die Kohlensäurespannung in der Lunge immer mehr ab je geringer die Sauerstoffzufuhr geworden ist. Bei forcierter Arbeit in der Ebene kann aus denselben Gründen gleichfalls eine Abnahme der Kohlensäurespannung herbeigeführt werden. Inwieweit eine Überventilation, wie in den Versuchen der Berliner Autoren, die zu einem Ansteigen der Sauerstoffspannung bei der Arbeit über die Höhe des Ruhewertes führt, gesetzmäßig bei einzelnen Personen beobachtet wird, müssen wohl erst weitere Versuche lehren. Es ist ganz wohl möglich, daß durch eine Superposition der Reizwirkung der Kohlensäure und der beim Muskelstoffwechsel sich bildenden Substanzen eine Steigerung des Minutenvolums herbeigeführt wird, die sogar zu einer Vermehrung der alveolaren Sauerstoffspannung führt.

Die Tatsache, daß die im Gefolge von Sauerstoffmangel ausgelöste Reizwirkung die normale Reizwirkung der Kohlensäure in den Hintergrund zu drängen vermag, hat durch die schönen Versuche von Haldane und seinen Mitarbeitern, die der jüngsten Zeit entstammen, eine wertvolle Bestätigung erfahren.[3]

Zum Schlusse dieses Abschnittes sei nochmals hervorgehoben, daß bei der Mannigfaltigkeit der Erscheinungen in Bezug auf die Atemmechanik bei verschiedenen Versuchspersonen selbst solche Vor-

---

[1] Es ist hiebei nicht nur an eine Vermehrung des Gesammthämoglobins, sondern auch an die Annahme verschiedener Hämoglobine (Bohr) zu denken.

[2] Hier sei nochmals auf die Versuche von Geppert und Zuntz (Pflüger's Arch., Bd. 42, p. 189), wie die neuen Versuche von Haldane und seinen Schülern hingewiesen.

[3] Journ. of Physiology, XXXVII u. XXXVIII.

gänge, die sich in ganz eindeutig gleicher Weise bei uns allen vieren abgespielt haben, heute noch nicht als allgemeingültige Gesetzmäßigkeit aufgefaßt werden dürfen, weil es wohl einen allgemeingültigen Typus Mensch in Bezug auf das Verhalten im Hochgebirge nicht gibt, insbesondere aber auch darum, weil ja die Resultate sehr wohl durch geringe Unterschiede in der Versuchsanordnung oder in den Grundbedingungen der Versuche, wie zum Beispiel bei der Berechnung der Alveolartension, beeinflußt sein können.

Wenn wir auch hoffen, durch die Diskussion des umfangreichen Zahlenmaterials, das wir in den Kapiteln VIII, X, XI, XII u. XIII besprachen, wie durch die zahlreichen neuen Versuche, die wir anläßlich der Expedition des Jahres 1906 ausführten, eine Klärung in dem heutigen Stand der Frage über den Einfluß des Höhenklimas auf die Respiration des Menschen gegeben zu haben, so möchten wir doch betonen, daß auf diesem Gebiete bis zu dessen entscheidender Durchforschung noch vielerlei Arbeit geleistet werden muß.[1]

Bei der mühevollen Berechnung, welche den vorliegenden Versuchen zugrunde liegt und die zu einem gutem Teile doppelt — logarithmisch und zur Kontrolle mit der Maschine — durchgeführt wurde, mögen dessenungeachtet an gar mancher Stelle sich Rechenfehler eingeschlichen haben. Diese dürften sich besonders in Versuchen finden, die mit anderen Beobachtungen derselben Reihe übereinstimmende Resultate zeigten, da dann der Hinweis auf die Notwendigkeit einer nochmaligen Kontrolle fehlte. Bei der großen Zahl gleichartiger Versuche, die noch dazu an mehreren Personen ausgeführt sind, steht aber zu erwarten, daß durch derartige Rechenfehler, die mit Nachsicht beurteilt werden mögen, an den Gesamtresultaten nichts geändert werde.

---

[1] Während der Drucklegung dieser Abhandlung erschien eine Publikation von Fuchs und Daimler (Sitzungsb. der physik.-medizinischen Sozietät in Erlangen, Bd. 41), die hier noch nicht berücksichtigt werden konnte. Gelegenheit zu einer Diskussion über die Beobachtungen der beiden Autoren dürfte sich bei der Besprechung der Resultate ergeben, die inzwischen auf dem Pic von Teneriffa gewonnen wurden anläßlich der Arbeiten, welche daselbst die internationale Kommission für Hochgebirgsforschung ausführte, der auch Zuntz und Durig angehörten.

An dieser Stelle möge es genügen, darauf hinzuweisen, daß die mühevollen Untersuchungen von Fuchs und Daimler, die erwünschte, wertvolle Ergänzungen zu der Frage nach dem Gaswechsel im Höhenklima hätten erbringen können, bedauerlicher Weise zu einem guten Teile nicht als einwandsfrei bezeichnet werden können. Es wird nötig sein, gegen die experimentelle Methodik der beiden Autoren Bedenken zu erheben, auf Grund derer sich manche Unstimmigkeit bei den Doppelversuchen wie mancher Widerspruch gegen physiologische Tatsachen erklären lassen wird.

Ergebnisse.

Die Bestimmungen der Atemfrequenzen in Körperruhe während eines lange dauernden Respirationsversuches dürfen bei richtiger Ausführung als einwandfrei angesehen werden; im Arbeitsversuch ist die Möglichkeit einer wesentlichen Änderung der Atmungsfrequenz durch eine beeinträchtigende Wirkung der Versuchsanordnung unbedingt einzuräumen.

Der Einfluß der Jahreszeit auf die Atemfrequenz war kein entscheidender. Drei Versuchspersonen atmeten in der wärmeren Jahreszeit frequenter, eine wies in der kalten Jahreszeit die größere Zahl von Atemzügen pro Minute auf.

Das Höhenklima war bei den bisher untersuchten Personen von verschiedenem Einfluß auf die Atemfrequenz. Es gibt Personen, bei denen in einer Höhenstation eine Vermehrung der Zahl der Atemzüge pro Minute auftritt — zu diesen gehören sämtliche Teilnehmer an der Expedition des Jahres 1906 —, aber auch Personen, bei denen die Atemfrequenz selbst in 4560 *m* Höhe konstant blieb oder sogar vermindert wurde. Nicht einmal ein und dieselbe Person verhält sich bei wiederholtem Höhenaufenthalt in gleicher Weise. Es besteht demnach keine gesetzmäßig sich geltend machende Einwirkung des Höhenklimas auf die Atemfrequenz in Höhen, die 4560 *m* nicht übersteigen.

Bei einzelnen Personen, die auf dem Monte Rosa eine Erhöhung der Atemfrequenz gezeigt hatten, wurde im Verlaufe eines längeren Aufenthaltes eine vielleicht im Sinne einer Anpassung zu deutende Verminderung der Atemfrequenz beobachtet.

Die Annahme, daß im Höhenklima ein periodischer, nach einer gewissen Gesetzmäßigkeit sich vollziehender Wechsel der Atemfreqenz auftritt oder daß ein solcher im Hochgebirge deutlicher ausgesprochen ist als in der Ebene, ist nicht erwiesen. Keinesfalls tritt ein solcher in Höhen bis 4500 *m* bei allen Personen auf.

Im Gefolge eines vorangegangenen Höhenaufenthaltes erniedrigte sich bei einem Teil der Versuchspersonen die Atemfrequenz, bei anderen wurden gleichhohe oder sogar höhere Werte beobachtet, als sie der betreffenden Talstation entsprechen. In dem unter ganz gleichen Temperaturverhältnissen ausgeführten Versuche auf dem Semmering und in Wien fand bei beiden Versuchspersonen nach der Rückkehr in die Ebene eine Abnahme der Atemfrequenz unter die dem Wiener Normalwert ensprechende Frequenz statt.

Nach den bisher vorliegenden Resultaten ist der Einfluß der Arbeit auf die Respirationsfrequenz ein verschiedener je nach der Art der Arbeit, nach der Höhe, in der diese geleistet wird, und nach dem subjektiven Verhalten der Versuchsperson. Es gibt Personen, die bei Hantelübungen keine Erhöhung der Atemfrequenz aufweisen; bei der Mehrzahl der Untersuchten war die Atmung nach einer Arbeit im Höhenklima stärker beschleunigt als in der Ebene, insbesondere wenn sich die Versuchsperson nicht vollkommen wohl befand.

Beim Horizontalmarsch trat bei den bisher untersuchten Leuten in Höhen bis zu 3000 *m* keine größere Steigerung der Atemfrequenz auf als in der Ebene, dagegen war in 4560 *m* Höhe die Zahl der Atemzüge in allen Fällen wesentlich erhöht. Ungefähr dasselbe Verhalten wurde beim Marsch auf ansteigender Bahn ermittelt. Die Meereshöhe, in der bei einer Person bereits eine ausgiebigere Vermehrung der Atemzüge gegenüber einem Marsch mit gleicher Leistung in der Ebene eintritt, ist individuell verschieden. Im allgemeinen

dürfte bei jenen Personen, die in der Ebene relativ langsam, aber mit großer Tiefe atmen, die Frequenzsteigerung früher eintreten als bei jenen, die in der Ebene eine hohe Atemfrequenz bei der Arbeit aufweisen.

Zwischen der Umgebungstemperatur und der Größe der Atemtiefe in Körperruhe war ein Zusammenhang in unseren Versuchen nicht nachzuweisen.

Das Verhalten der einzelnen Versuchspersonen im Höhenklima war in bezug auf die Atemtiefe ein individuell verschiedenes. In der Capanna Margherita bildete sich bei uns im Laufe des Aufenthaltes eine etwas größere Vertiefung der Atmung aus, die als eine zweckmäßige Anpassung gedeutet werden kann.

Bei den Marschversuchen war die Atemtiefe in den Höhenstationen in unseren Versuchen gleich oder geringer als bei jenen in der Ebene.

Das pro Minute geatmete Volum ist bei manchen Menschen bereits in 1000 *m* Höhe gesteigert, bei anderen fehlte jedoch diese Vergrößerung oder es trat sogar eine Abnahme der Minutenventilation ein. In einer Höhe von rund 3000 *m* war erst bei der Hälfte der Versuchspersonen in Körperruhe das Minutenvolum erhöht, wogegen eine ausgesprochene Steigerung desselben in allen einwandfreien Beobachtungen auf dem Monte-Rosa-Gipfel (4560 *m*) festgestellt wurde. Bei einzelnen Personen, so bei Durig und Reichel, wurde der Druckabfall durch Steigerung der Ventilation im Hochgebirge insofern kompensiert, als die Größe des »reduzierten Minutenvolums« bei ihnen im Hochgebirge dieselbe war wie in der Ebene. Bei anderen Personen überstieg das reduzierte Minutenvolum den Wert aus der Ebene, bei der Mehrzahl war es aber trotz Steigerung des beobachteten Minutenvolums vermindert. Das Ausmaß der Verminderung ist ebenfalls individuellen Schwankungen unterworfen.

Die Umgebungstemperatur (Sommer und Winter) hatte keinen gesetzmäßigen Einfluß auf die Höhe der Ventilation pro Minute. Die Wirkung eines vorangegangenen Aufenthaltes in sehr großer Höhe auf das Minutenvolum war bei den einzelnen Versuchspersonen verschieden. Es sind für das Verhalten rein individuelle Unterschiede ausschlaggebend gewesen.

Eine nachhaltende Gewöhnung an den Einfluß des Höhenklimas, die in einer allmählich sich ausbildenden, gesetzmäßigen Veränderung des Minutenvolums zum Ausdruck kommen sollte, fand bei keiner der untersuchten Personen statt. Es ist kein Beweis dafür erbracht, daß an das Hochgebirge durch wiederholten Aufenthalt gewöhnte Personen sich anders verhalten als ungewöhnte. Auch während lange dauernden Aufenthalts auf dem Monte-Rosa-Gipfel fand keine Änderung im Sinne einer gesetzmäßigen Anpassung an das Höhenklima statt. Es bestand keineswegs eine einheitliche Tendenz nach einer Zu- oder Abnahme der geatmeten Volumina.

Es konnte keinerlei Einfluß des Befindens der ruhenden Versuchsperson auf das Atemvolum nachgewiesen werden. Weder bestehende Bergkrankheit noch Muskeltraining haben eine Verschiebung des Minutenvolums auf dem Monte Rosa herbeigeführt. Dieses stellte sich je nach der Empfindlichkeit der Versuchsperson für die klimatischen Reize auf eine gewisse größere Höhe ein, um die es bei uns nur unwesentlich schwankte.

Es ist anzunehmen, daß außer den auf das Atemzentrum wirkenden Reizen im Hochgebirge sich noch andere, derzeit nicht sicher erkennbare Einflüsse (zum Beispiel Wirkung der ultravioletten Strahlen u. a.) geltend machen, die eine Steigerung der Ventilation auf reflektorischem Wege, besonders bei den ans Hochgebirge nicht Gewöhnten herbeiführen können.

Die Annahme einer Luxusatmung ist auf Grund der bisher im Höhenklima über die Atmung gemachten Erfahrungen nicht allgemein berechtigt, es zeigt sich im Gegenteil, daß

manche Personen ganz ausgesprochen an der Ventilation gleichgroßer Luftmengen wie in der Ebene auch dann festhalten, wenn der Luftdruck bis nahezu auf die Hälfte einer Atmosphäre absinkt.

Bei Leistung gleichgroßer Arbeit war die Ventilation in den Höhenstationen eine größere als in der Ebene. Das für die Leistung von 1 *mkg* Steigarbeit geatmete, reduzierte Volum stellte sich aber bei den meisten Personen auf dieselbe Höhe wie in der Ebene ein, obwohl die beobachteten Minutenvolumina dabei auf das Doppelte des Wertes aus der Ebene steigen mußten.

Bei der Mehrzahl der bisher untersuchten Personen war die Vitalkapazität im Höhenklima vermindert. Ein Einfluß der Temperatur auf die Größe der Vitalkapazität konnte nicht nachgewiesen werden.

Eine Veränderung der Vitalkapazität in Form einer Anpassung an die Verhältnisse im Höhenklima fand bei uns nicht statt. Die Größe der Vitalkapazität blieb vor und nach dem Trainieren unter ganz verschiedenen Temperaturverhältnissen und selbst nach dem einen Monat dauernden Aufenthalt auf dem Gipfel unverändert und in gleichem Ausmaße gegenüber der Ebene vermindert. Im Hocken war die Vitalkapazität größer als im Liegen, im Stehen größer als im Hocken.

Es läßt sich kein Zusammenhang zwischen der Größe der Vitalkapazität und der Leistungsfähigkeit einer Versuchsperson oder deren Neigung zur Bergkrankheit nachweisen.

Übereinstimmend mit unseren älteren Beobachtungen (denen von Zuntz und dessen Schule) wie mit den seither veröffentlichten Untersuchungen von Haldane und dessen Mitarbeitern, wurde auch in unseren neuen Versuchen in der Ebene eine alveolare Sauerstoffspannung von im Mittel 105 *mm* Hg und eine Kohlensäurespannung von 33 *mm* Hg gefunden.

Die von Boycott und Haldane beobachtete Erscheinung, daß die alveolare Kohlensäuretension in der kalten Jahreszeit einem höheren Wert zustrebt, fand in unseren Versuchen eine Bestätigung. Nicht nur die Kohlensäuretension, sondern auch die Sauerstofftension war im Winter eine höhere als im Sommer. Die Größe der Verschiebung der Werte ist so gering, daß sie keinen wesentlichen Einfluß auf die Höhe der Tension im Hochgebirge ausübt.

Die alveolare Kohlensäure und Sauerstofftension sinkt beim Vordringen in größere Höhe mit der Abnahme des Barometerstandes ab. Diese Abnahme war schon in 1000 *m* Höhe (Semmering) deutlich ausgesprochen. Es besteht kein Anhaltspunkt dafür, daß berggewöhnte Menschen sich in bezug auf die Gasspannungen in der Lunge im Höhenklima anders verhalten als ungewöhnte.

Eine gesetzmäßige Anpassung der Gasspannungen in der Lunge bei längerem Aufenthalt im Höhenklima konnte nicht nachgewiesen werden.

Die Werte, bis zu denen die alveolare Kohlensäuretension auf dem Monte Rosa absank, liegen bei uns nahe an 20 *mm* Hg, sie sind niederer als jene der englischen Autoren (28 bis 34 *m*) und es ist erst zu entscheiden ob die Ursache hievon in der Verwendung einer verschiedenen Methodik der Bestimmung der alveolaren Tension gesucht werden kann oder ob es sich um tatsächliche, so weitgehende individuelle Unterschiede handelt. Direkte Vergleiche der Sauerstofftension unter Verwendung beider Versuchsmethoden bei der Untersuchung einer Person werden hiezu eine wertvolle Ergänzung liefern.

Die alveolare Sauerstofftension sank auf dem Monte Rosa auf rund 50 bis 60 *mm* Hg ab. Ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten der Bergkrankheit oder der Leistungsfähigkeit und der Höhe der alveolaren Kohlensäurespannung im Sinne

der Akapnietheorie bestand nicht; ebensowenig ist eine Abhängigkeit des Befindens von den geringen, bei den einzelnen Versuchspersonen beobachteten Unterschieden in der alveolaren Sauerstofftension zu erweisen gewesen.

Im Anschlusse an vorhergehende Anstrengungen lag bei uns die Kohlensäuretension niederer, die Sauerstofftension blieb unverändert.

Im Hocken stieg die alveolare Sauerstofftension stark an und sank die Kohlensäuretension ab. Die Ursache hiefür kann möglicherweise in einem Auftreten erhöhten Sauerstoffmangels infolge Verringerung der atmenden Lungenoberfläche gesucht werden.

Die Änderungen in der prozentischen Zusammensetzung der Lungenluft in Körperruhe waren im Hochgebirge auffallend gering. Die Prozentzahlen für den Kohlensäuregehalt zeigen eine steigende, jene für den Sauerstoffgehalt eine sinkende Tendenz.

Das pro Millimeter Kohlensäure- und Sauerstoffspannung pro Minute geatmete Volum stieg bei uns in Körperruhe stetig mit dem Vordringen in größere Höhen an, die Zunahme war bereits auf dem Semmering ausgesprochen.

Der Abstieg aus der Hochregion ins Tal war bei uns von keiner gleichartigen Veränderung der Alveolartension begleitet; ein Konstantbleiben der Kohlensäuretension auf der auf Höhe des auf dem Monte Rosa beobachteten Wertes, wie dies Ward in Zermatt fand, trat bei uns nicht ein. Die Kohlensäure- und Sauerstofftension stieg bei uns in der Höhenlage von Alagna nach der Rückkehr vom Monte Rosa zu ganz entsprechenden Größen an.

Ebensowenig beobachteten wir nach dem Abstieg eine gesetzmäßige Vermehrung der Sauerstofftension über ein normales Ausmaß.

Die alveolare Sauerstofftension stieg während der Arbeitsversuche bei den Teilnehmern an der Expedition des Jahres 1901 und ebenso bei Zuntz im Jahre 1903 gegenüber den Ruheversuchen an, es wurde also von diesen bei der Arbeit überventiliert. Bei Durig im Jahre 1903 und 1905 wie bei allen im Jahre 1906 untersuchten Versuchspersonen sank die alveolare Sauerstoffspannung ab oder blieb konstant. Trotz niederer Sauerstoffspannung war bei ihnen die Arbeitsleistung eine ungleich größere. Eine größere Höhe der alveolaren Sauerstofftension, die hier vielleicht als Folge ungenügender Blutversorgung der Muskeln oder des Gehirns zu deuten ist, kann daher als kein Kriterium für eine größere Leistungsfähigkeit angesehen werden. Es ist wahrscheinlich, daß bei jenen Personen, die in der Höhe des Monte Rosa bei der Arbeit noch keine Überventilation zeigten, eine solche bei der Arbeit in noch größerer Höhe auftreten werde.

Das Training hatte keinen Einfluß auf die Höhe der Sauerstofftension, diese stellte sich in derselben Höhe immer wieder auf den nämlichen Wert ein.

Auch im Arbeitsversuch konnte an der bergkranken Versuchsperson keinerlei abweichendes Verhalten in Bezug auf die Gasspannungen in der Lunge beobachtet werden.

Die pro Millimeter Kohlensäure- oder Sauerstoffspannung pro Minute ventilierte Gasmenge stieg mit dem Vordringen in größere Höhen auch bei der Arbeit an, und zwar um so mehr, je weiter der Luftdruck absank.

Die prozentuelle Zusammensetzung der Lungenluft blieb bei Reichel selbst bei der Arbeit auf dem Monte Rosa fast ganz dieselbe wie in der Ebene; wesentlichere Unterschiede in der Zusammensetzung wies nur eine der vier Versuchspersonen (Rainer) auf.

Bei bestehendem Unwohlsein können sogar beim Marschieren in der Ebene so niedrige Sauerstoffspannungen in der Lunge auftreten, daß die Bedingungen für die Sauerstoffversorgung noch ungünstiger werden als in eine Höhe von 4560 *m*. Dies gibt einen Hinweis auf die Möglichkeit des Auftretens von Bergkrankheit bei Marschleistungen in geringen Höhen auf Grund ausgesprochenen Sauerstoffmangels.

Die Entscheidung über die Art, in der besonders bei großem Sauerstoffbedarf im Hochgebirge die Deckung des Sauerstofferfordernisses stattfindet, stößt auf Schwierigkeiten, wenn man so geringe Werte für die Diffusion des Sauerstoffes durch die Lungenwand annimmt, wie dies Bohr tat. Es reicht nicht nur die ursprünglich von Bohr angenommene Difussionsgeschwindigkeit bei den gegebenen Druckdifferenzen zwischen der Alveolarluft und den Gasen des venösen Blutes nicht aus, um den Übertritt hinreichender Sauerstoffmengen zu erklären, sondern es kann sogar auf Grund der von Bohr neuerdings aufgestellten Annahme vermehrten Gasdurchtrittes durch die Lungenwand infolge einer Steigerung der Druckdifferenz zwischen Blut- und Lungengasen gegebenen Falles kein Auslangen gefunden werden. Es ist daher nötig, zur Erklärung der tatsächlichen Bedeckung des Sauerstoffbedarfes auf noch höhere Diffusionsgeschwindigkeiten — etwa wie sie Zuntz und Loewy experimentell nachwiesen — zurückzugreifen.

Das pro Kubikzentimeter Sauerstoffbedarf von uns geatmete (reduzierte) Volum war in der Ebene wie im Hochgebirge bei der Arbeit das nämliche, der Druckabfall wurde von uns insofern im Hochgebirge kompensiert, als das Atemvolum in dem Ausmaße gesteigert wurde, daß selbst auf dem Monte Rosa ebenso wie in Wien pro Kubikzentimeter Sauerstoffbedarf 16 bis 18 cm^3 Luft (reduziert) geatmet wurden. In diesem Verhalten liegt ein Hinweis auf die Reize, die bei Muskelarbeit und im Hochgebirge, also bei erhöhtem Sauerstoffverbrauch oder vermindertem Sauerstoffanbot auf das Atemzentrum erregend einwirken.

Wenn auch am Schlusse dieses Abschnittes angegeben werden soll, welche Beobachtungen über das Verhalten der Atemmechanik weiterhin erforderlich sein werden, so kann festgestellt werden, daß bei dem ausgesprochenen Vorwiegen individuell verschiedener Verhältnisse bei der Regelung der Atemmechanik im Hochgebirge jeder neue Beitrag, der eine Vermehrung des bekannten Tatsachenmaterials beibringt, erwünscht sein muß.

Es sei deshalb nur auf einige Punkte hingewiesen, die besonders dringend weiteren Ausbaues bedürfen.

Die Form und der zeitliche Ablauf der Atembewegungen ist im Hochgebirge besonders unter dem Einflusse wechselnder Umgebungstemperatur, ferner unter dem Einflusse der Muskelarbeit, sowie nach vorangegangener Muskelarbeit zu untersuchen.

Die Geschwindigkeit des Exspirationsstromes wurde im Hochgebirge noch nicht untersucht.

Die Beobachtungen über den Einfluß der Temperatur auf Atemfrequenz und Atemtiefe bedürfen einer Ergänzung.

Die Untersuchungen über die Atemmechanik aus Höhen unter 2000 *m* sind noch vollständig unzulänglich und sollten im Hinblick auf die Sanatoriumbehandlung im Höhenklima und auf das Verhalten kranker Personen aufgenommen werden.

Die Versuche über die Größe der Vitalkapazität im Hochgebirge bedürfen noch eines weiteren Ausbaues.

Die Unterschiede in der Höhe der alveolaren Kohlensäurespannung, die sich auf Grund der mit verschiedener Methodik ausgeführten Untersuchungen hierüber im Hochgebirge ergaben, müssen unter Nachprüfung der Methodik aufgeklärt werden.

Es ist festzustellen, ob es Personen gibt, die eine Änderung der Atemmechanik in Höhen bis zu 3000 *m* aufweisen, eine solche aber beim Vordringen in größere Höhe nicht mehr zeigen. Es muß nachgewiesen werden, ob es tatsächlich Personen gibt, bei denen sich beim längeren

Aufenthalt im Hochgebirge Anpassungsvorgänge in Bezug auf Atemmechanik und Alveolartension ausbilden, insbesondere ist es wichtig, die Verhältnisse bei Hochlandsbewohnern (außerhalb von Europa) zu untersuchen.

Der durchgreifende Unterschied im Verhalten der Lungengasspannung, der sich bei den Versuchen an den Wiener und Berliner Autoren bei der Arbeit im Hochgebirge ergab, muß in seinen Ursachen geklärt werden.

Die Verhältnisse, welche bei der Deckung des Sauerstoffbedarfes im Hochgebirge bei forcierter Arbeit vorliegen, müssen einem experimentellen Studium unterworfen werden, insbesondere ist hiebei das Sauerstoffbindungsvermögen des Blutes ins Auge zu fassen.[1]

Es ist wichtig, festzustellen, ob der bei uns gefundene Quotient (Ventilation pro Einheit der Verbrennungsvorgänge) eine allgemeine Gültigkeit bei der Leistung von Arbeit in verschiedenen Höhen besitzt.

Bei allen künftigen Arbeiten wird man sich stets vor Augen halten müssen, daß die Aufstellung einer Gesetzmäßigkeit viel einfacher auszuführen ist als der Nachweis für deren tatsächliches Bestehen. Dies ist wohl auch die Ursache, daß in den voranstehenden Abschnitten zahlreichere »Gesetzmäßigkeiten«, die von den verschiedensten Autoren angenommen wurden, als individuell recht schwankende Erscheinungen gekennzeichnet wurden und dem gegenüber viel weniger neue Gesetzmäßigkeiten aufgebaut wurden. Dies dürfte aber keinen Schaden bedeuten, denn ein Fortschritt ist wohl nicht auf Grund unerwiesener Hypothesen, sondern nur auf Grund bewiesener Tatsachen zu erwarten, sei es auch daß wir deren Kausalität derzeit nicht zu erkennen vermögen.

---

[1] Diese Versuche sind inzwischen während unserer Teneriffaexpedition von Barcroft durchgeführt worden.

General-

Durig. Verhalten der Atemmechanik und der

a	b	c	d	e	f	g	h	
Tag	Nr.	Barometerstand *mm* Hg	Atemvolumen unreduziert Liter pro Minute	Zahl der Atemzüge pro Minute	Volum eines Atemzuges cm^3	Zusammensetzung der Exspirationsluft in Prozenten		
						CO_2	O_2	
Wien,								
12. Juli 1906	31	745·6	6·54	13·5	486·3	2·98	17·44	1
	32	745·6	6·60	13·2	499·3	3·16	17·29	2
13. Juli 1906	33	743·4	6·42	12·6	511·1	3·04	17·50	3
	34	743·4	6·66	13·1	508·0	3·03	17·46	4
14. Juli 1906	35	744·8	6·59	13·5	489·6	3·05	17·38	5
	36	744·8	6·33	12·8	482·2	3·00	17·45	6
Mittel . .		**744·6**	**6·52**	**13·1**	**496·0**	**3·04**	**17·42**	
Wien,								
8. Jänner 1907	229	752·4	5·89	10·5	561·0	3·24	17·27	7
	230	752·4	5·74	10·8	531·8	3·56	16·80	8
	231	752·4	6·13	11·3	542·7	3·04	17·34	9
9. Jänner 1907	235	750·3	5·60	10·0	560·0	3·32	17·01	10
	236	750·3	5·80	10·1	574·2	3·18	17·13	11
	237	750·3	5·94	10·1	588·4	3·13	17·13	12
Mittel . .		**751·3**	**5·85**	**10·4**	**559·6**	**3·24**	**17·11**	
Wien,								
27. März 1906	403	749·7	6·38	11·0	580·3	3·40	17·40	13
	404	749·7	6·20	10·2	607·8	3·26	17·42	14
28. März 1906	405	749·7	6·07	11·0	551·6	3·69	17·02	15
	406	749·7	6·18	10·1	612·1	3·28	17·40	16
Mittel . .		**749·7**	**6·20**	**10·5**	**587·9**	**3·40**	**17·31**	
Wien nach								
16. Jänner 1907	270	750·4	5·66	9·3	608·6	3·50	16·94	17
	271	750·4	5·39	8·8	626·6	3·58	16·79	18
Mittel . .		**750·4**	**5·50**	**9·0**	**617·6**	**3·54**	**16·86**	

tabelle I.

Gasspannungen in der Lunge bei Körperruhe.

	i	*k*	*l*	*m*	*n*	*o*	*p*	*q*	*r*
	Zusammensetzung der Lungenluft in Prozenten		Alveoläre Gasspannung in *mm* Hg		Geatmet pro Minute und pro *mm* Gastension in der Lunge				reduz. Atem-volum
					pro *mm* CO_2-Tension		pro *mm* O_2-Tension		
	CO_2	O_2	CO_2	O_2	unred. cm^3 Luft	reduz. cm^3 Luft	unred. cm^3 Luft	reduz. cm^3 Luft	*l*
Sommer 1906.									
1	4·58	15·56	32·0	108·8	204·1	188 2	60·1	53·59	5·83
2	4·79	15·40	33·4	107·5	198·2	175·7	61·4	54·61	5·87
3	4·56	15·79	31·7	110·0	202·0	179·8	58·4	51·85	5·70
4	4·56	15·72	31·7	109·5	209·8	186·4	60·8	53·99	5·91
5	4·67	15·50	31·9	108·2	206·9	183·1	60·9	53·99	5·84
6	4·64	15·56	31·4	108·6	195·4	172·9	58·3	52·76	5·60
	4·63	**15·58**	**32·0**	**108·7**	**202·7**	**180·0**	**59·9**	**53·46**	**5·80**
Winter 1907.									
	4·53	15·81	32·0	111·5	184·1	173·2	52·8	49·64	5·54
8	5·10	15·04	36·3	106·1	159·4	146·3	54·1	49·64	5·27
9	5·41	15·83	38·3	111·8	160·1	151·2	54·6	50·56	5·66
10	4·64	15·45	32·7	108·7	171·2	157·8	51·5	47·48	5·16
11	4·41	15·66	31·0	110·2	187·0	172·2	52·6	48·54	5·35
12	4·29	15·72	30·3	110·6	196·5	175·5	53·7	48·48	5·36
	4·73	**15·58**	**33·4**	**109·8**	**176·4**	**162·7**	**53·2**	**49 06**	**5·39**
Frühling 1907.									
13	4·69	15 69	33·0	110·3	193·0	185·8	57·8	54·33	5·99
14	4·65	15·91	32·7	111·9	189·5	178·1	55·4	52·07	5·83
15	5·20	15·45	36·6	108·6	165·7	155·7	55·9	52·47	5·70
16	4·69	15·86	32·9	111·5	187·6	175·9	55·4	52·11	5·81
	4·81	**15·73**	**33·8**	**110·5**	**183·9**	**173·8**	**56·1**	**52·74**	**5·83**
Semmering.									
17	4·28	15·51	32·1	109·2	176·2	159·6	51·8	46·94	5·13
18	4·80	15·37	33·8	108·1	159·2	145·6	49·8	45·54	4·93
	4·54	**15·44**	**32·9**	**108·6**	**167·7**	**152·6**	**50·8**	**46 24**	**5·03**

General-

Durig. Verhalten der Atemmechanik und der

a	b	c	d	e	f	g	h	
Tag	Nr.	Barometer-stand *mm* Hg	Atemvolumen unreduziert Liter pro Minute	Zahl der Atemzüge pro Minute	Volum eines Atemzuges cm^3	Zusammensetzung der Exspirationsluft in Prozenten		
						CO_2	O_2	
							Semmering,	
12. Jänner 1907	244	681·6	6·84	11·2	610·7	3·42	16·95	1
	245	681·6	6·24	10·0	624·2	3·65	16·67	2
	248	681·6	6·47	11·0	587·9	3·52	17·00	3
13. Jänner 1907	249	678·5	6·80	12·2	557·5	3·33	17·17	4
	250	678·5	7·33	12·7	577·1	3·02	17·43	5
	262	678·8	7·01	11·1	631·7	3·31	17·26	6
14. Jänner 1907	263	678·8	6·89	12·6	546·9	3·25	17·26	7
Mittel . .		**679·9**	**6·79**	**11·5**	**590·8**	**3·35**	**17·10**	
							Alagna,	
5. September 1906 . . .	216*a*	660·4	5·83	8·2	589·4	3·69	16·70	8
	216*b*	660·4	5·73	8·0	591·1	3·68	16·60	9
6. September 1906 . . .	217*a*	660·8	6·47	9·7	666·8	3·43	17·06	10
	217*b*	660·8	6·14	9·4	653·7	3·46	16·81	11
8. September 1906 . . .	226	662·6	7·00	9·0	777·8	3·46	17·11	12
Mittel von 216*a* u. *b* . .		**660·4**	**5·78**	**8·1**	**590·0**	**3·68**	**16·65**	
Mittel aller übrigen . .		**661·4**	**6·53**	**9·4**	**699·4**	**3·45**	**16·99**	
							Monte Rosa,	
9. August 1906	107	438·5	10·64	17·2	618·7	3·66	16·38	13
	108	438·5	9·86	16·2	614·8	3·54	16·24	14
11. August 1906	115	436·6	10·00	16·0	625·1	3·67	16·01	15
	116	436·6	9·98	15·8	625·5	3·99	16·08	16
13. August 1906	126	439·6	9·95	14·0	710·2	4·01	16·32	17
	127	439·6	9·65	14·7	656·5	3·85	16·12	18
Mittel . .		**438·2**	**10·01**	**15·6**	**641·8**	**3·78**	**16·19**	
							Monte	
31. August 1906	180	431·2	10·43	14·0	745·1	4·04	16·20	19
	181	431·2	9·49	13·2	702·8	4·33	15·73	20
1. September 1906 . . .	188	433·9	10·06	13·6	739·8	4·01	16·18	21
	189	433·9	9·16	14·5	613·8	4·30	15·83	22
Mittel . .		**432·7**	**9·78**	**13·8**	**700·4**	**4·17**	**15·98**	

tabelle II.

Gasspannungen in der Lunge bei Körperruhe.

	i	*k*	*l*	*m*	*n*	*o*	*p*	*q*	*r*
	Zusammensetzung der Lungenluft in Prozenten		Alveoläre Gasspannung in *mm* Hg		Geatmet pro Minute und pro *mm* Gastension in der Lunge				Reduz. Atemvolum
					pro *mm* CO_2-Tension		pro *mm* O_2-Tension		
	CO_2	O_2	CO_2	O_2	unred. *cm*³ Luft	reduz. *cm*³ Luft	unred. *cm*³ Luft	reduz. *cm*³ Luft	*l*
	Winter.								
1	4·63	15·54	29·4	98·6	232·5	181·1	69·3	54·00	5·81
2	4·91	15·19	31·2	96·4	200·3	176·9	64·7	57·17	5·33
3	4·84	15·53	30·7	98·5	210·6	187·1	65·6	58·27	5·51
4	4·67	15·65	29·7	99·4	229·3	193·8	68·4	57·82	5·75
5	4·17	15·97	27·0	100·9	278·0	248·3	71·9	59·84	6·19
6	4·43	16·02	28·0	101·2	250·0	211·3	69·3	58·51	5·92
7	4·59	15·74	29·0	99·5	237·3	196·1	69·2	58·57	5·83
	4·60	**15·66**	**29·2**	**99·2**	**234·0**	**199·2**	**68·3**	**57·74**	**5·79**
	Sommer.								
8	5·07	15·12	31·21	93·1	154·9	146·2	51·8	48·98	4·56
9	5·04	14·99	31·07	92·2	152·3	144·0	51·2	48·45	4·47
10	4·51	15·84	27·72	97·2	228·5	186·9	65·1	53·25	5·18
11	4·58	15·46	28·14	95·0	218·3	170·9	64·6	50·51	4·80
12	4·35	16·13	26·83	99·3	260·8	205·3	70·5	55·45	5·51
	5·06	**15·05**	**31·14**	**92·7**	**153·6**	**145·1**	**51·5**	**48·71**	**4·51**
	4·46	**15·61**	**27·56**	**97·2**	**235·8**	**194·4**	**66·7**	**53·07**	**5·16**
	Sommer.								
13	4·96	14·80	19·35	58·0	550·1	305·9	183·5	102·09	5 92
14	4·80	14·64	18·80	57·8	524·5	292·1	171·9	95·68	5·49
15	4·93	14·85	19·24	57·2	519·9	291·7	172·7	96·86	5·61
16	5·36	14·92	20·90	58·2	472·9	266·0	169·8	95·52	5·56
17	5·10	14·77	19·61	58·6	495·6	271·2	171·3	93·71	5·44
18	5·09	14·08	20·00	55·2	482·6	257·5	174·8	93·29	5·15
	5·04	**14·67**	**19·65**	**57·5**	**507·6**	**280·7**	**174·0**	**96·19**	**5·53**
	Rosa.								
19	5·14	14·90	19·75	57·3	528·3	284·6	182·0	98·04	5·62
20	5·79	14·68	22·28	56·6	425·8	231·1	168·0	91·22	5·15
21	5·11	14·87	19·82	57·6	507·8	284·5	174·7	95·68	5·51
22	5·71	14·33	22·14	55·4	413·8	227·7	165·3	90·86	5·04
	5·44	**14·69**	**20·99**	**56·7**	**468·9**	**256·9**	**172·5**	**93·95**	**5·22**

General-

Durig. Verhalten der Atemmechanik und der

a	b	c	d	e	f	g	h	
Tag	Nr.	Barometerstand *mm* Hg	Atemvolumen unreduziert Liter pro Minute	Zahl der Atemzüge pro Minute	Volum eines Atemzuges *cm*³	Zusammensetzung der Exspirationsluft in Prozenten CO_2	O_2	
							Monte Rosa	
16. August 1906	134	437·5	10·71	16·3	657·0	3·78	16·36	1
	135	437·5	10·45	16·0	653·1	3·65	16·48	2
20. August 1906	142	432·0	10·50	16·0	656·3	3·73	16·33	3
	143	432·0	10·05	16 0	628·1	3·78	16·23	4
Mittel . .		**434·7**	**10·42**	**16·1**	**648·6**	**3·73**	**16·35**	
							Monte Rosa	
2. September 1906 . . .	191	432·5	9·21	14·0	657·9	4·10	15·92	5
	192	432·5	11·18	15·6	716·7	4·43	16·49	6
	193	432·5	11·89	15·6	720·6	4·49	16·45	7
	194	432·5	10·37	15·0	691·4	4·28	16·51	8
	195	432·5	10 13	16·1	629·3	4·34	16·19	9
	196	432·5	9·11	14·3	637·1	4·38	15·94	10
	197	432·5	10·34	14·0	587·5	3·93	16·24	11
Mittel . .		432·5	**10 32**	**15·0**	**662·9**	**4·15**	**16·25**	
							Monte Rosa	
3. September 1906 . . .	202	432·1	9·98	18·1	551·4	3·98	16·30	12
	203	432·1	10·91	18·5	589·7	4·17	16·48	13
	204	432·1	10·97	18·3	599·7	4·40	16·52	14
	205	432·1	10·30	15·6	660·4	4·36	16·44	15
	206	432·1	9·59	16·0	599·1	4·35	16·23	16
	207	432·1	9·27	15·7	590·3	4·04	16·16	17
Mittel . .		**432·1**	**10·17**	**17·0**	**598·4**	**4·21**	**16·35**	
							Monte Rosa	
2. September 1906 . . .	198	432·1	13·80	20·7	666·7	3·80	17·01	18
	200	432·1	11·67	21·0	555·7	3·67	16·92	19
	201	432·1	14·62	21·6	676·9	3·33	17·17	20
Mittel . .		**432·1**	**13·36**	**21·1**	**633·1**	**3·60**	**17·03**	

tabelle III.

Gasspannungen in der Lunge bei Körperruhe.

	i	*k*	*l*	*m*	*n*	*o*	*p*	*q*	*r*
	Zusammensetzung der Lungenluft in Prozenten		Alveoläre Gasspannung in *mm* Hg		Geatmet pro Minute und pro *mm* Gastension in der Lunge				Reduz. Atem-volum
					pro *mm* CO_2-Tension		pro *mm* O_2-Tension		
	CO_2	O_2	CO_2	O_2	unred. cm^3 Luft	reduz. cm^3 Luft	unred. cm^3 Luft	reduz. cm^3 Luft	*l*
	nach Märschen.								
1	4·98	14·88	19·49	58·2	538·2	316·6	184·2	106·18	6·17
2	4·83	15·04	18·90	58·7	553·0	310·6	177·8	99·85	5·87
3	4·93	14·84	19·01	57·2	552·4	307·2	183·5	102·08	5·84
4	5·07	14·63	19·55	56·4	513·0	286·0	178·3	99·16	5·59
	4·95	**14·85**	**19·23**	**57·6**	**539·1**	305·1	**180·9**	**101·81**	**5·87**
	Zucker-Versuche.								
5	5·29	14·31	19·96	55·2	461·4	229·2	167·2	90·88	5·02
6	5·70	15·21	22·01	58·7	508·0	271·9	190·5	97·37	5·89
7	5·77	15·17	22·27	58·5	533·9	291·9	203·1	111·04	6·50
8	5·57	14·66	21·01	56·7	493·6	270·1	182·9	100·10	5·68
9	5·82	14·57	22·45	56·2	451·2	247·0	180·2	98·63	5·55
10	5·85	14·27	22·58	55·0	403·7	220·4	165·5	90·37	4·97
11	5·41	14·25	20·84	55·0	394·1	264·6	188·1	102·71	5·65
	5·63	**14·63**	**21·59**	**56·5**	**463·7**	**256·4**	**182·5**	**98·35**	**5·22**
	Zucker-Versuche.								
12	5·61	14·74	21·61	56·8	461·8	250·7	175·6	95·33	5·42
13	5·73	14·82	22·12	57·1	493·3	270·2	190·9	104·55	5·97
14	6·00	14·91	23·03	57·4	474·3	260·8	195·3	107·41	6·03
15	5·75	15·00	21·18	57·8	464·5	297·1	178·2	113·95	5·69
16	5·93	14·52	22·88	55·9	418·9	232·1	187·8	94·68	5·30
17	5·54	14·39	21·37	56·7	433·7	238·3	163·3	89·71	5·09
	5·76	**14·73**	**22·03**	**56·9**	**457·7**	**258·2**	**181·8**	**100·93**	**5·22**
	Bück- u. Hockversuche.								
18	5·00	15·78	18·42	60·8	748·9	407·3	226·7	123·04	7·51
19	5·15	15·58	19·89	60·1	586·6	320·9	194·0	105·85	6·37
20	4·36	16·01	16·83	61·1	868·8	472·8	238·9	130·00	7·96
	4·83	**15·79**	**18·38**	**60·6**	**734·7**	**400·3**	**219·8**	**119·63**	**7·28**

General-

Durig. **Verhalten der Atemmechanik und der**

Horizontal-

a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	
Tag	Nr.	Pro Minute Meter Weges	Atem-volumen unreduz. *l*	Zahl der Atemzüge	Volum eines Atemzuges cm^3	Zusammensetzung der				
						Exspirationsluft in		Lungenluft in		
						Prozenten				
			pro Minute			CO_2	O_2	CO_2	O_2	
Wien.										
2. März 1907 . .	408	126·0	35·42	24·5	1472·5	4·71	15·92	5·29	15·32	1
	409	116·6	28·08	20·2	1387·2	4·68	15·76	5·29	15·09	2
	410	141·8	47·05	28·6	1642·8	4·32	16·14	4·68	15·59	3
	411	152·5	53·36	28·1	1899·2	4·68	15·63	5·00	15·24	4
3. März 1907 . .	412	102·3	22·96	22·3	1027·6	4·25	15·88	4·98	14·80	5
	414	83·8	19·28	22·2	870·0	4·00	15·93	4·91	14·80	6
	415	72·3	17·78	18·4	980·0	3·98	15·98	4·76	14·99	7
Mittel . .			**31·99**	**23·4**	**1325·6**	**4·37**	**15·89**	**4·98**	**15·11**	
Semmering,										
13. Jänner 1907 .	355	100·7	25·51	19·1	1333·8	4·03	16·04	4·58	15·38	8
	357	102·1	29·48	24·1	1222·0	3·52	16·65	5·10	15·63	9
	358	103·2	26·72	18·6	1433·3	4·58	16·30	5·04	14·59	10
14. Jänner 1907 .	364	110·3	26·67	20·3	1314·0	4·79	15·39	5·44	14·59	11
	365	105·4	27·23	21·4	1273·7	4·37	15·80	5·00	15·06	12
Mittel . .		**104·3**	**27·14**	**20·7**	**1315·3**	**4·25**	**16·03**	**5·03**	**15·05**	

tabelle IV.

Gasspannungen in der Lunge bei der Arbeit.

marschversuche.

	l	m	n	o	p	q	r	s	t
	Alveoläre Gasspannung in *mm* Hg		Geatmet pro Minute und Millimeter Gastension in der Lunge				Reduziertes Atemvolumen *l* pro Minute	Pro Meter und Kilogramm Horizontalbewegung geatmet *cm*³ Luft	
			pro *mm* CO_2-Tension		pro *mm* O_2-Tension				
	CO_2	O_2	unreduz.	reduz.	unreduz.	reduz.		unreduziert	reduziert
			*cm*³ Luft						
1	36·85	105·77	939·3	875·4	331·7	302·8	32·26	3·72	3·39
2	36·89	105·20	724·3	678·2	266·9	243·3	25·60	3·17	2·88
3	32·60	108·66	1443·1	1309·7	433·1	393·0	42·79	4·36	3·96
4	34·81	106·27	1532·9	1398·4	502·4	458·1	48·65	4·59	4·19
5	34·72	103·14	616·3	601·4	222·7	202·4	20·88	2·90	2·68
6	34·15	103·16	565·7	515·2	187·0	170·6	17·60	3·02	2·76
7	33·20	104·52	535·5	447·4	170·1	155·2	16·22	3·23	2·95
	34·74	**105·22**	**908·2**	**832·2**	**301·9**	**275·0**		**3·57**	**3·26**
	Winter.								
8	28 86	96·85	883·2	768·8	263·3	229·1	22·19	3·32	2·76
9	32·10	87·77	918·2	802·4	335·9	300·3	25·76	3·59	3·30
10	32·48	91·92	822·8	670·0	290·8	236·7	21·76	3·59	2·95
11	34·42	92·28	774·9	677·2	289·0	252·8	23·31	3·17	2·67
12	31·59	95·22	864·6	758·0	286·9	251·5	23·95	3·32	2·97
	31·89	**92·81**	**852·7**	**735·2**	**293·1**	**254·1**	**23·39**	**3·36**	**2·93**

General-

Durig. Verhalten der Atemmechanik und der

Marsch auf

Tag	Nr.	Steigarbeit pro Minute *mkg*	Atemvolumen unreduz. *l* pro Minute	Zahl der Atemzüge pro Minute	Volum eines Atemzuges *cm*³	Zusammensetzung der Exspirationsluft in Prozenten CO_2	Zusammensetzung der Exspirationsluft in Prozenten O_2	Zusammensetzung der Lungenluft in Prozenten CO_2	Zusammensetzung der Lungenluft in Prozenten O_2	
a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*	*i*	*k*	
									Wien,	
16. Juni 1907 . .	426	929·5	47·23	29·0	1594·1	5·15	15·69	5·72	15·11	1
	427	945·8	51·03	26·0	1962·8	4·77	15·96	5·19	15·52	2
	428	918·4	49·14	22·7	2166·0	4·69	15·97	5·24	15·23	3
	429	943·7	48·43	23·5	2052·0	4·85	15·76	5·31	15·74	4
Mittel . .		**934·3**	**48·95**	**25·3**	**1943·7**	**4·86**	**15·84**	**5·36**	**15·40**	
									Wien,	
8. Februar 1907	376	655·4	33·57	20·1	1673·2	5·06	14·97	5·60	14·68	5
	377	634·8	34·44	18·8	1829·6	4·93	15·33	5·40	14·48	6
	378	656·9	36·02	14·8	2437·4	4·85	15·45	5·19	15·06	7
	379	717·4	35·30	19·1	1845·2	4·87	15·30	5·33	14·77	8
Mittel . .		**666·1**	**34·84**	**18·2**	**1946·3**	**4·92**	**15·26**	**5·38**	**14·74**	
									Monte	
29. August 1906 .	155	530·0	58·85	32·1	1832·8	5·12	15·31	5·60	14·66	9
	156	502·3	53·14	31·5	1687·8	5·01	15·07	5·55	14·46	10
30. August 1906 .	161	528·4	55·29	31·3	1766·6	5·40	15·23	5·94	14·63	11
	162	535·9	54·86	34·0	1613·1	5·46	15·20	6·06	14·59	12
Mittel . .		**524·1**	**55·53**	**32·2**	**1725·1**	**5·24**	**15·20**	**5·78**	**14·58**	

tabelle IV (Fortsetzung).

Gasspannungen in der Lunge bei der Arbeit.

ansteigender Bahn.

	l	*m*	*n*	*o*	*p*	*q*	*r*	*s*	*t*
	Alveoläre Gasspannung in *mm* Hg		Geatmet pro Minute und Millimeter Gastension in der Lunge				Reduziertes Atemvolumen *l* pro Minute	Pro Meterkilogramm Steigarbeit geatmet cm^3 Luft	
	CO_2	O_2	pro *mm* CO_2-Tension		pro *mm* O_2-Tension				
			unreduz.	reduz.	unreduz.	reduz.		unreduziert	reduziert
			cm^3 Luft						
Sommer.									
1	39·50	104·23	1170·4	1070·4	443·6	405·6	42·28	49·7	45·5
2	35·83	107·08	1424·1	1269·6	476·5	424·9	45·49	54·0	48·1
3	36·14	105·10	1359·9	1211·8	467·6	416·6	43·79	54·8	47·7
4	36·65	108·58	1321·6	1175·9	446·0	406·3	43·09	51·8	46·1
	37·03	**106·29**	**1319·0**	**1181·9**	**45·84**	**413·3**	**43·66**	**52·0**	**4·68**
Winter.									
5	38·65	101·38	876·8	843·2	331·2	321·5	32·59	51·2	49·7
6	37·32	102·17	922·7	898·2	337·0	327·2	33·44	54·3	52·7
7	35·85	104·03	1004·8	974·2	346·2	335·1	34·92	54·8	53·2
8	36·84	104·38	958·2	928·4	338·1	327·9	34·20	49·2	47·7
	37·16	**102·99**	**940·6**	**911·0**	**338·1**	**327·9**	**33·78**	**52·4**	**50·8**
Rosa.									
9	22·37	59·97	2631·4	1516·4	981·1	540·0	33·14	106·0	62·5
10	22·64	59·01	2347·4	1345·5	900·3	496·3	29·83	105·8	59·3
11	24·26	59·78	2279·0	1267·8	925·2	514·6	30·76	104·6	58·2
12	24·75	59·49	2217·0	1229·3	922·3	511·4	30·42	102·4	56·7
	23·50	**59·56**	**2368·7**	**1339·7**	**932·2**	**515·5**	**31·03**	**104·2**	**59·0**

General-

Kolmer. Verhalten der Atemmechanik und der

a	b	c	d	e	f	g	h	
Tag	Nr.	Barometerstand *mm* Hg	Atemvolumen unreduziert Liter pro Minute	Zahl der Atemzüge pro Minute	Volum eines Atemzuges *cm*³	Zusammensetzung der Exspirationsluft in Prozenten CO_2	O_2	
							Wien,	
7. Juni 1906	1	741·7	6·15	11·0	559·1	3·48	16·78	1
	2	741·7	6·57	12·2	538·5	3·17	16·95	2
	3	741·7	6·41	12·0	534·2	3·29	16·82	3
	4	741·7	6·15	12·5	492·0	3·32	16·72	4
	5	741·7	6·30	12·0	525·0	3·28	16·85	5
8. Juni 1906	6	744·5	7·00	13·0	538·5	3·28	16·95	6
	7	744·5	6·57	12·2	538·5	3·33	16·78	7
	8	744·5	6·80	12·3	552·8	3·23	16·96	8
	9	744·5	6·39	12·0	532·5	3·42	16·70	9
	10	744·5	6·82	11·7	582·9	3·23	16·92	10
Mittel . .		**743·0**	**6·51**	**12·0**	**539·4**	**3·30**	**16·84**	
							Wien,	
1. März 1907	388	751·5	7·52	17·0	442·3	3·06	17·36	11
	389	751·5	7·37	14·0	526·2	3·24	17·21	12
	390	751·5	7·21	12·7	554·8	3·23	17·24	13
	392	751·5	7·05	13·0	542·3	3·25	17·08	14
	394	751 5	7·20	13·2	553·0	3·18	17·21	15
Mittel . .		**751·5**	**7·19**	**13·9**	**523·7**	**3·19**	**17·22**	
							Alagna	
6. September 1906 . . .	213	660·8	8·56	21·6	407·6	3·14	17·57	16
	214	660·8	9·20	21·2	444·1	3·02	17·65	17
	215	660·8	8·50	21·0	404·8	3·01	17·53	18
	223	662·6	8·85	25·0	354·0	3·14	17·57	19
9. September 1906 . . .	224	662·6	8·06	19·0	424·2	3·16	17·33	20
	225	662·6	8·25	19·7	418·7	3·13	17·40	21
Mittel . .		**661·7**	**8·57**	**21·2**	**408·9**	**3·10**	**17·50**	

tabelle V.

Gasspannungen in der Lunge bei Körperruhe.

	i	*k*	*l*	*m*	*n*	*o*	*p*	*q*	*r*
	Zusammensetzung der Lungenluft in Prozenten		Alveoläre Gasspannung in *mm* Hg		Geatmet pro Minute und pro *mm* Gastension in der Lunge				reduz. Atem-volum
	CO_2	O_2	CO_2	O_2	pro *mm* CO_2-Tension		pro *mm* O_2-Tension		*l*
					unred. *cm*³ Luft	reduz. *cm*³ Luft	unred. *cm*³ Luft	reduz. *cm*³ Luft	
	Sommer.								
1	4·87	15·11	33·12	105·0	185·7	172·0	58·55	53·98	5·67
2	4·51	15·27	31·37	106·1	209·6	193·2	61·92	57·11	6·06
3	4·70	15·06	32·65	104·7	196·4	181·0	61·24	57·78	5·91
4	4·92	15·09	34·20	102·2	179·8	160·1	60·23	55·62	5·68
5	4·71	15·06	32·80	104·7	192·1	177·2	60·19	55·51	5·81
6	4·67	15·24	32·56	106·4	215·0	195·9	60·83	56·60	6·38
7	4·74	15·03	33·06	104·9	198·7	179·0	62·66	56·46	5·92
8	4·54	15·34	32·47	107·1	214·4	195·4	63·54	57·93	6·20
9	4·89	14·89	34·11	103·9	187·3	170·0	61·52	55·84	5·80
10	4·49	15·40	31·36	107·5	217·5	198·0	63·45	57·78	6·21
	4·70	**15·30**	**32·86**	**105·3**	**199·6**	**182·1**	**61·41**	**56·46**	**5·96**
	Frühling.								
11	4·79	15·35	33·79	108·2	222·5	206·2	69·49	64·40	6·97
12	4·66	15·59	33·81	109·8	224·5	208·2	67·06	62·18	6·83
13	4·65	16·31	33·50	112·3	215·2	200·0	64·17	59·64	6·70
14	4·75	15·47	33·50	109·0	210·5	196·2	64·65	59·97	6·54
15	4·58	15·69	33·28	111·6	223·1	206·7	65·08	60·29	6·67
	4·68	**15·68**	**33·17**	**110·1**	**219·1**	**203·4**	**66·09**	**61·08**	**6·74**
16	5·17	15·40	31·76	94·6	269·5	212·1	90·28	71·14	6·73
17	4·72	15·80	29·00	97·1	317·3	250·3	94·78	74·80	7·26
18	4·98	15·30	30·57	94·0	278·1	218·2	90·40	70·90	6·67
19	4·73	14·80	(35·30)	91·2	250·8	198·6	97·08	76·91	7·01
20	4·96	15·15	30·54	93·4	264·0	208·6	86·36	68·25	6·37
21	5·06	15·22	31·21	93·8	264·3	208·6	87·98	69·43	6·51
	4·93	**15·27**	**31·39**	**94·0**	**274·0**	**216·0**	**91·14**	**71·90**	**6·79**

General-

Kolmer. Verhalten der Atemmechanik und der

a	b	c	d	e	f	g	h	
Tag	Nr.	Barometer-stand *mm* Hg	Atemvolumen unreduziert Liter pro Minute	Zahl der Atemzüge pro Minute	Volum eines Atemzuges cm^3	Zusammensetzung der Exspirationsluft in Prozenten		
						CO_2	O_2	
Monte								
9. August 1906	101	438·5	10·03	25·0	400·1	3·68	16·41	1
	102	438·5	9·85	24·5	402·0	3·84	16·07	2
11. August 1906	113	436·6	10·30	17·9	575·4	4·12	16·06	3
	114	436·6	10·08	18·4	574·6	4·05	16·01	4
13. August 1906	120	440·2	10·83	18·2	595·1	3·81	16·56	5
	121	440·2	10·61	19·1	555·5	3·72	16·36	6
Mittel . .		**438·4**	**10·28**	**20·5**	**517·1**	**3·87**	**16·24**	
Monte								
31. August 1906	174	444·3	9·79	15·9	615·7	4·08	16·27	7
	175	444·3	10·40	18·3	555·4	4·13	16·27	8
1. September 1906 . . .	182	443·2	11·23	21·0	534·8	3·95	16·79	9
	183	443·2	10·80	22·0	490·9	3·83	16·67	10
Mittel . .		**443·5**	**10·55**	**19·3**	**549·2**	**3·99**	**16·50**	
Monte								
16. August 1906	138	443·1	11·68	20·0	584·0	3·89	16·21	11
	139	443·1	11·27	20·0	563·5	3·84	16·09	12
20. August 1906	146	438·9	11·62	22·5	516·5	3·68	16·07	13
	147	438·9	11·20	23·0	482·6	3·54	16·38	14
Mittel . .		**441·0**	**11·44**	**21·3**	**536·6**	**3·73**	**16·18**	

tabelle VI.

Gasspannungen in der Lunge bei Körperruhe.

	i	k	l	m	n	o	p	q	r
	Zusammensetzung der Lungenluft in Prozenten		Alveoläre Gasspannung in *mm* Hg		Geatmet pro Minute und pro *mm* Gastension in der Lunge				Reduz. Atem-volum
					pro *mm* CO_2-Tension		pro *mm* O_2-Tension		
	O_2	CO_2	CO_2	O_2	unred. *cm*³ Luft	reduz. *cm*³ Luft	unred. *cm*³ Luft	reduz. *cm*³ Luft	*l*
Rosa.									
1	6·13	13·36	24·03	52·3	417·4	238·5	196·14	109·50	5·73
2	6·38	13·15	25·00	51·5	394·1	220·8	191·00	107·04	5·52
3	5·71	14·14	22·26	55·1	462·4	257·4	186·81	103·92	5·73
4	5·72	13·98	22·31	54·5	451·9	250·5	184·72	102·86	5·61
5	5·21	14·95	20·48	58·8	526·2	288·1	184·32	100·42	5·90
6	5·23	14·51	20·53	57·0	516·7	280·0	181·82	100·82	5·75
	5·73	**14·01**	**22·43**	**54·8**	**461·4**	**255·8**	**187·46**	**104·09**	**5·71**
Rosa.									
7	5·51	14·63	21·20	56·3	461·8	248·0	173·94	93·47	5·26
8	5·81	14·38	22·31	55·3	466·2	250·6	188·11	101·11	5·59
9	5·64	15·02	21·67	57·8	518·5	283·3	193·43	106·30	6·14
10	5·86	15·07	22·67	58·3	475·9	263·8	185·08	100·94	5·89
	5·70	**14·77**	**21·96**	**56·9**	**480·6**	**261·4**	**185·14**	**100·46**	**5·72**
Rosa.									
11	5·48	14·43	21·43	56·4	545·0	305·7	207·12	116·14	6·55
12	5·36	14·17	20·97	55·4	537·6	301·1	203·45	112·87	6·31
13	5·33	13·89	20·55	53·5	565·6	314·9	217·13	120·88	6·47
14	5·30	14·12	20·41	54·4	548·7	301·8	203·93	113·18	6·16
	5·37	**14·15**	**20·84**	**54·9**	**549·2**	**305·9**	**207·91**	**115·77**	**6·37**

Tabelle

Kolmer.

Verhalten der Atemmechanik und der

Horizontal-

Tag (a)	Nr. (b)	Pro Minute Meter Weges (c)	Atemvolumen unreduz. *l* pro Minute (d)	Zahl der Atemzüge pro Minute (e)	Volum eines Atemzuges cm^3 (f)	Zusammensetzung der Exspirationsluft in Prozenten CO_2 (g)	Zusammensetzung der Exspirationsluft in Prozenten O_2 (h)	Zusammensetzung der Lungenluft in Prozenten CO_2 (i)	Zusammensetzung der Lungenluft in Prozenten O_2 (k)	
Wien.										
5. März 1907 . .	316	100·9	40·51	62·9	642·1	3·30	16·94	4·40	15·61	1
	317	105·2	40·50	64·3	630·2	3·70	16·79	5·03	15·38	2
	318	100·0	43·38	67·1	646·5	3·53	17·05	4·69	15·41	3
	319	104·2	41·15	63·5	647·8	3·65	16·89	4·84	15·56	4
6. März 1907 . .	320	69·2	20·57	22·3	945·5	4·05	15·92	4·88	14·90	5
	321	62·4	25·26	35·3	715·8	3·14	17·00	4·04	15·86	6
	322	67·0	21·31	29·8	714·6	3·78	16·05	4·87	14·64	7
	324	49·2	19·06	29·9	637·9	3·23	17·00	4·31	15·68	8
Mittel . .			**31·46**	**46·8**	**697·5**	**3·54**	**16·70**	**4·63**	**15·38**	

Marsch auf

Tag (a)	Nr. (b)	Steigarbeit pro Minute *mkg* (c)	Atemvolumen unreduz. *l* pro Minute (d)	Zahl der Atemzüge pro Minute (e)	Volum eines Atemzuges cm^3 (f)	Zusammensetzung der Exspirationsluft in Prozenten CO_2 (g)	Zusammensetzung der Exspirationsluft in Prozenten O_2 (h)	Zusammensetzung der Lungenluft in Prozenten CO_2 (i)	Zusammensetzung der Lungenluft in Prozenten O_2 (k)	
Wien,										
16. Juni 1907 . .	438	678·0	40·73	37·1	1098·9	4·36	15·95	5·07	15·11	9
	439	741·5	41·50	36·9	1091·7	4·35	15·70	5·14	14·94	10
	440	658·3	41·35	36·0	1148·4	4·00	16·34	4·65	15·60	11
	441	716·2	42·78	36·4	1149·9	4·16	16·14	4·83	15·81	12
Mittel . .		**698·7**	**41·58**	**36·6**	**1122·2**	**4·21**	**16·03**	**4·92**	**15·36**	

tabelle VII.

Gasspannungen in der Lunge bei der Arbeit.

marschversuch.

	l	*m*	*n*	*o*	*p*	*q*	*r*	*s*	*t*
	Alveoläre Gasspannung in *mm* Hg		Geatmet pro Minute und Millimeter Gastension in der Lunge				Reduziertes Atemvolumen *l* pro Minute	Pro Meter und Kilogramm Horizontalbewegung geatmet *cm*³ Luft	
	CO_2	O_2	pro *mm* CO_2-Tension		pro *mm* O_2-Tension				
			unreduz.	reduz.	unreduz.	reduz.		unreduziert	reduziert
			*cm*³ Luft						
1	30·16	107·10	1342·8	1211·5	377·9	341·2	36·54	4·26	3·84
2	34·49	105·52	1174·0	1057·0	383·8	346·3	36·54	4·08	3·69
3	32·19	105·78	1347·5	1201·3	410·1	366·4	38·67	4·61	4·10
4	33·26	106·78	1237·2	1137·8	385·3	354·4	37·84	4·20	3·85
5	33·46	102·21	614·8	565·5	201·4	185·1	18·92	3·15	2·90
6	27·69	108·91	912·4	837·2	231·9	212·9	23·18	4·30	3·94
7	33·42	100·45	637·6	586·8	212·1	195·2	19·61	3·37	3·11
8	29·59	107·62	644·3	591·2	177·1	162·5	17·49	4·11	3·77
	31·78	**105·54**	**988·3**	**898·5**	**297·4**	**270·5**	**28·6**	**4·02**	**3·65**

ansteigender Bahn.

	l	*m*	*n*	*o*	*p*	*q*	*r*	*s*	*t*
	Alveoläre Gasspannung in *mm* Hg		Geatmet pro Minute und Millimeter Gastension in der Lunge				Reduziertes Atemvolumen *l* pro Minute	Pro Meterkilogramm Steigarbeit geatmet *cm*³ Luft	
	CO_2	O_2	pro *mm* CO_2-Tension		pro *mm* O_2-Tension				
			unreduz.	reduz.	unreduz.	reduz.		unreduziert	reduziert
			*cm*³ Luft						
	Sommer.								
9	34·46	101·98	1182·0	1044·5	399·4	352·9	35·99	60·1	53·0
10	34·67	100·97	1169·8	1055·1	402·0	362·6	36·58	54·7	49·3
11	31·38	105·31	1317·8	1158·9	392·6	354·2	36·45	62·8	55·3
12	33·39	106·72	1282·3	1129·5	400·8	353·4	37·71	59·7	52·6
	33·47	**103·74**	**1235·4**	**1097·0**	**398·7**	**355·7**	**36·68**	**59·4**	**52·8**

Tabelle

Kolmer.

Verhalten der Atemmechanik und der

Marsch auf

a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	
Tag	Nr.	Steigarbeit pro Minute *mkg*	Atemvolumen unreduz. *l*	Zahl der Atemzüge	Volum eines Atemzuges *cm³*	Zusammensetzung der Exspirationsluft in		Zusammensetzung der Lungenluft in		
			pro Minute			Prozenten				
						CO_2	O_2	CO_2	O_2	
									Wien,	
9. Februar 1907 .	380	836·4	51·82	47·0	1101·6	4·38	15·65	4·78	14·75	1
	381	820·6	50·71	41·6	1040·0	4·35	15·76	5·10	15·27	2
	382	801·9	50·60	43·0	1015·9	4·53	15·83	5·24	15·12	3
	383	675·7	42·72	33·5	1112·8	4·57	15·44	5·23	14·65	4
Mittel . .		**783·7**	**48·96**	**41·2**	**1067·6**	**4·45**	**15·67**	**5·08**	**14·94**	
									Monte	
29. August 1906 .	149	464·8	47·50	36·8	1128·2	5·18	14·91	5·29	14·15	5
	150	482·7	49·45	36·7	1186·1	5·34	15·01	6·06	14·22	6
	151	460·8	46·25	35·6	1138·6	5·20	14·81	6·00	14·11	7
30. August	169	573·4	62·91	42·7	1311·5	5·08	15·51	5·70	14·85	8
	170	436·1	59·37	49·6	1037·7	4·77	15·75	5·51	14·95	9
	171	479·4	64·39	51·4	1096·8	4·36	15·99	4·99	15·19	10
Mittel . .		**482·9**	**54·98**	**42·1**	**1149·8**	**4·98**	**15·33**	**5·59**	**14·57**	

tabelle VII (Fortsetzung).

Gasspannungen in der Lunge bei der Arbeit.

ansteigender Bahn.

	l	*m*	*n*	*o*	*p*	*q*	*r*	*s*	*t*
	Alveoläre Gasspannung in *mm* Hg		Geatmet pro Minute und Millimeter Gastension in der Lunge				Reduziertes Atemvolumen *l* pro Minute	Pro Meterkilogramm Steigarbeit geatmet cm^3 Luft	
			pro *mm* CO_2-Tension		pro *mm* O_2-Tension				
	CO_2	O_2	unreduz.	reduz.	unreduz.	reduz.		unreduziert	reduziert
			cm^3 Luft						
Winter.									
1	32·74	101·02	1582·0	1538·1	512·8	498·5	50·36	61·9	60·2
2	34·94	104·56	1451·9	1410·8	485·0	471·3	49·28	61·7	59·9
3	35·91	103·56	1409·2	1366·7	489·8	473·9	49·07	63·1	61·2
4	35·79	100·31	1193·8	1158·2	425·9	413·2	41·45	63·2	61·2
	34·84	**102·36**	**1409·2**	**1368·4**	**478·3**	**464·2**	**47·54**	**62·5**	**60·6**
Rosa.									
5	24·13	57·71	1968·3	1126·0	823·0	470·8	27·17	102·2	57·1
6	24·13	57·99	1899·3	1141·0	852·8	486·7	28·22	102·5	58·4
7	24·48	57·58	1889·4	1075·4	803·3	457·3	26·33	100·4	57·1
8	23·28	60·67	2702·5	1485·0	1037·0	569·8	34·57	132·9	73·0
9	22·50	61·09	2639·0	1525·0	967·3	561·6	34·31	136·1	78·6
10	20·37	62·05	3161·0	1743·4	1037·8	572·3	35·51	134·3	75·8
	23·15	**59·51**	**2376·6**	**1349·3**	**920·2**	**519·7**	**31·01**	**118·0**	**66·7**

General-

Rainer. Verhalten der Atemmechanik und der

a	b	c	d	e	f	g	h	
Tag	Nr.	Barometerstand *mm* Hg	Atemvolumen unreduziert Liter pro Minute	Zahl der Atemzüge pro Minute	Volum eines Atemzuges *cm*³	Zusammensetzung der Exspirationsluft in Prozenten CO_2	O_2	
							Wien,	
11. Juni 1906	21	741·7	6·93	16·5	420·0	2·85	17·37	1
	22		6·27	16·0	391·9	2·93	17·24	2
	23		7·13	16·8	424·4	2·73	17·58	3
	24		7·09	18·0	421·8	2·64	17·56	4
	25		7·17	18·2	393·8	2·98	17·28	5
12. Juni 1906	26	742·0	6·53	16·3	400·9	2·86	17·29	6
	27		6·85	16·6	412·7	2·79	17·50	7
	28		7·64	16·5	402·4	2·74	17·53	8
	29		8·43	19·6	429·9	2·59	17·73	9
	30		7·86	17·2	456·8	2·74	17·54	10
Mittel . .		**741·8**	**7·19**	**17·2**	**415·4**	**2·78**	**17·46**	
							Wien,	
2. März 1907	394	756·9	6·78	16·7	405·9	2·91	17·64	11
	395		6·91	16·2	426·6	2·95	17·68	12
	397		6·60	15·7	420·4	2·87	17·58	13
	398		6·89	15·8	436·1	2·90	17·62	14
Mittel . .		**756·9**	**6·79**	**16·1**	**422·2**	**2·90**	**17·63**	
							. Alagna	
6. September 1906 . . .	207	660·8	7·20	17·2	453·3	3·27	17·49	15
	208	660·8	7·30	17·8	442·7	3·17	17·67	16
8. September 1906 . . .	218[1]	662·6	7·78	17·8	426·6	3·17	17·52	17
	219	662·6	7·88	17·0	423·5	3·09	17·32	18
	220	662·6	7·84	18·7	390·4	3·08	17·36	19
Mittel . .		**661·8**	**7·60**	**17·7**	**427·3**	**3·16**	**17·47**	

[1] Die betreffenden Versuchsnummern p. 110, Kapitel VIII [224], sind verwechselt.

tabelle VIII.

Gasspannungen in der Lunge bei Körperruhe.

	i	*k*	*l*	*m*	*n*	*o*	*p*	*q*	*r*
	Zusammensetzung der Lungenluft in Prozenten		Alveoläre Gasspannung in *mm* Hg		Geatmet pro Minute und pro Millimeter Gastension in der Lunge				Reduz. Atem-volumen
					pro *mm* CO_2-Tension		pro *mm* O_2-Tension		
	CO_2	O_2	CO_2	O_2	unred. cm^3 Luft	reduz. cm^3 Luft	unred. cm^3 Luft	reduz. cm^3 Luft	*l*
Sommer.									
1	4·60	15·18	32·10	105·5	216·6	193·8	65·67	58·76	6·20
2	4·95	14·69	34·42	102·4	178·1	162·7	61·25	54·71	5·60
3	4·39	15·55	30·53	108·1	233·6	208·7	66·10	59·92	6·37
4	4·25	15·55	29·55	107·9	239·7	218·7	67·21	58·58	6·32
5	5·02	14·78	34·90	102·8	205·4	182·5	69·72	61·98	6·37
6	4·76	14·87	33·09	103·4	197·8	180·3	63·20	56·27	5·83
7	4·56	15·32	31·69	106·6	216·2	192·4	64·28	57·33	6·11
8	4·19	15·74	29·12	109·4	262·4	234·6	69·83	62·38	6·83
9	4·12	15·83	28·68	110·1	294·0	261·8	76·62	68·23	7·51
10	4·21	15·72	29·26	109·2	268·5	238·9	71·93	63·98	6·99
	4·51	**15·32**	**31·32**	**106·5**	**234·2**	**207·4**	**67·58**	**60·21**	**6·41**
Frühling.									
11	4·80	15·54	33·78	109·3	200·7	188·0	62·03	58·12	6·35
12	4·72	15·73	33·20	110·6	208·2	194·9	62·48	58·49	6·47
13	4·64	15·52	32·38	109·1	203·0	189·8	60·47	56·54	6·17
14	4·48	15·70	31·48	110·4	218·8	204·8	62·40	58·41	6·44
	4·66	**15·62**	**32·71**	**109·8**	**207·7**	**194·3**	**61·84**	**56·39**	**6·36**
15	5·04	15·44	29·67	94·9	242·7	193·7	75·90	60·73	5·76
16	4·96	15·56	32·52	95·6	224·3	175·7	76·39	59·84	5·85
17	5·07	15·55	30·10	95·6	258·5	206·3	81·42	63·50	6·21
18	4·96	15·42	29·04	95·0	271·3	216·6	82·94	64·70	6·29
19	5·22	14·88	30·67	93·8	255·6	203·8	83·51	66·41	6·25
	5·05	**15·37**	**30·40**	**94·9**	**250·4**	**199·2**	**80·03**	**63·03**	**6·07**

General-

Rainer. Verhalten der Atemmechanik und der

a	b	c	d	e	f	g	h	
Tag	Nr.	Barometerstand *mm* Hg	Atemvolumen unreduziert Liter pro Minute	Zahl der Atemzüge pro Minute	Volum eines Atemzuges *cm*³	Zusammensetzung der Expirationsluft in Prozenten		
						CO_2	O_2	
							Monte	
9. August 1906	103	438·5	8·12	17·0	477·7	4·29	15·61	1
	104	438·5	8·83	18·0	490·6	3·96	16·01	2
11. August 1906	109	436·6	9·79	22·0	499·1	3·58	16·47	3
	110	436·6	9·58	21·2	451·9	3·72	16·26	4
13. August 1906	122	440·2	12·10	20·0	605·0	3·71	17·03	5
	123	440·2	12·10	20·0	605·0	3·78	16·92	6
Mittel 103—110 . .		**437·5**	**9·08**	**19·5**	**467·3**	**3·88**	**16·08**	
122—123 . .		**440·2**	**12·10**	**20·0**	**605·0**	**2·73**	**16·97**	
							Monte	
31. August 1906	178	444·3	8·70	16·8	517·9	4·43	15·67	7
	179	444·3	9·33	17·5	533·0	4·17	15·93	8
1. September 1906 . . .	186	443·2	10·00	16·9	591·7	4·45	16·19	9
	187	443·3	9·59	17·0	564·1	4·49	16·20	10
Mittel . .		**443·7**	**9·40**	**17·0**	**55·17**	**4·38**	**15·99**	
							Monte Rosa	
15. August 1906	130	443·8	10·70	21·0	564·1	3·97	16·01	11
	131	443·8	10·61	20·0	509·5	3·92	16·26	12
16. August 1906	136	443·1	10·33	19·0	530·5	4·00	16·10	13
	137	443·1	9·87	19·0	543·8	4·10	15·80	14
20. August 1906	144	438·9	10·36	19·5	519·5	3·73	16·24	15
	145	438·9	10·43	19·5	531·3	3·86	16·27	16
Mittel . .		**442·9**	**10·38**	**19·6**	**533·1**	**3·93**	**16·11**	

tabelle IX.

Gasspannungen in der Lunge bei Körperruhe.

	i	*k*	*l*	*m*	*n*	*o*	*p*	*q*	*r*
	Zusammensetzung der Lungenluft in Prozenten		Alveoläre Gasspannung in *mm* Hg		Geatmet pro Minute und pro Millimeter Gastension in der Lunge				Reduz. Atemvolumen *l*
					pro *mm* CO_2-Tension		pro *mm* O_2-Tension		
	CO_2	O_2	CO_2	O_2	unred. *cm*³ Luft	reduz. *cm*³ Luft	unred. *cm*³ Luft	reduz. *cm*³ Luft	
Rosa I.									
1	6·45	12·93	25·28	50·6	321·2	175·9	160·16	89·79	4·55
2	6·01	13·96	23·57	53·5	374·7	209·6	165·02	92·32	4·94
3	5·56	14·00	21·69	54·7	451·4	255·9	178·87	103·76	4·55
4	5·71	13·75	22·46	53·6	426·5	234·6	178·73	98·32	5·27
5	5·04	15·63	19·82	61·4	610·5	332·5	197·03	108·55	6·59
6	5·14	15·48	20·24	60·8	597·8	325·6	198·92	108·34	6·59
	5·93	**13·58**	**23·25**	**53·1**	**393·4**	**219·0**	**170·69**	**96·04**	**4·83**
	5·09	**15·55**	**20·53**	**61·1**	**604·1**	**329·0**	**197·97**	**108·44**	**6·59**
Rosa II.									
7	6·43	13·32	24·68	51·2	352·1	191·0	169·85	92·14	4·72
8	5·96	13·79	22·40	53·0	416·5	223·7	175·92	94·46	5·01
9	6·10	14·43	23·63	55·9	423·3	231·5	178·88	97·85	5·47
10	6·28	14·33	24·33	55·5	394·1	215·3	172·82	94·43	5·24
	6·19	**13·99**	**23·76**	**53·9**	**396·5**	**215·3**	**174·37**	**94·72**	**5·11**
nach Märschen.									
11	5·78	13·75	22·99	54·6	454·8	256·7	195·82	100·78	5·90
12	5·61	14·24	22·29	56·6	475·9	261·0	187·55	102·87	5·82
13	5·67	14·23	22·15	55·6	466·3	261·4	185·89	104·14	5·79
14	5·75	13·16	22·48	51·4	439·2	246·1	192·00	107·57	5·53
15	5·34	13·96	20·57	53·8	503·7	281·0	192·58	107·19	5·78
16	5·51	13·98	21·27	53·9	488·0	273·7	192·61	108·00	5·82
	5·61	**13·89**	**21·96**	**54·4**	**471·3**	**263·3**	**191·07**	**105·09**	**5·77**

General-

Rainer.

Verhalten der Atemmechanik und der

Horizontal-

a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	
Tag	Nr.	Pro Minute Meter Weges	Atemvolumen unreduz. *l* (pro Minute)	Zahl der Atemzüge (pro Minute)	Volum eines Atemzuges *cm*³	Zusammensetzung der Exspirationsluft in Prozenten CO_2	Zusammensetzung der Exspirationsluft in Prozenten O_2	Zusammensetzung der Lungenluft in Prozenten CO_2	Zusammensetzung der Lungenluft in Prozenten O_2	
									Wien,	
30. Juni 1907 . .	351	91·3	21·08	15·0	1405·2	4·48	15·43	5·06	14·73	1
	352	88·8	26·68	15·3	1420·3	4·54	15·82	5·12	15·17	2
	353	90·4	21·91	15·3	1429·6	4·56	15·66	5·14	15·00	3
	354	88·8	20·80	15·1	1382·7	4·58	15·58	5·18	14·87	4
	355	115·8	30·30	15·0	2020·7	5·05	14·87	5·48	14·35	5
	356	76·9	19·06	15·9	1200·1	3·88	15·91	4·47	15·45	6
	357	47·2	14·06	12·3	1168·9	4·12	16·07	4·77	14·87	7
	358	129·5	34·49	12·5	2761·0	6·06	14·16	6·44	13·74	8
Mittel . .		**80·8**	**23·54**	**14·5**	**1598·5**	**4·66**	**15·43**	**5·20**	**14·77**	

Marsch auf

a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	
Tag	Nr.	Steigarbeit pro Minute *mkg*	Atemvolumen unreduz. *l* (pro Minute)	Zahl der Atemzüge (pro Minute)	Volum eines Atemzuges *cm*³	Zusammensetzung der Fxspirationsluft in Prozenten CO_2	Zusammensetzung der Fxspirationsluft in Prozenten O_2	Zusammensetzung der Lungenluft in Prozenten CO_2	Zusammensetzung der Lungenluft in Prozenten O_2	
									Wien,	
17. Juni 1907 . .	334	700·2	31·66	15·5	2036·9	5·50	14·46	5·97	13·91	9
	335	686·7	31·83	16·6	1917·9	5·09	14·94	5·53	14·39	10
	336	732·0	34·96	16·6	2106·0	5·08	15·13	5·50	14·50	11
	337	795·0	35·45	16·7	2123·9	5·41	15·65	5·85	15·22	12
Mittel . .		**759·1**	**33·47**	**16·3**	**2046·1**	**5·27**	**15·04**	**5·71**	**14·50**	

tabelle X.

Gasspannungen in der Lunge bei der Arbeit.

marschversuch.

	l	m	n	o	p	q	r	s	t
	Alveoläre Gasspannung in *mm* Hg		Geatmet pro Minute und Millimeter Gastension in der Lunge				Reduziertes Atemvolumen *l* pro Minute	Pro Meter und Kilogramm Horizontalbewegung geatmet cm^3 Luft	
			pro *mm* CO_2-Tension		pro *mm* O_2-Tension				
	CO_2	O_2	unreduz.	reduz.	unreduz.	reduz.		unreduziert	reduziert
			cm^3 Luft						
1	34·91	101·88	602·5	523·9	206·5	179·9	18·33	3·06	2·66
2	35·40	104·97	612·4	537·8	210·6	181·4	19·04	3·16	2·84
3	35·54	103 81	616·4	537·1	202·2	183·9	19·09	3·29	2·80
4	35·81	102·90	580·8	506·0	242·4	176·1	18·12	3·11	2·71
5	37·94	99·28	798·7	679·0	305·2	259·5	25·76	3·46	2·95
6	30·98	108·40	615·2	534·2	175·8	152·4	16·55	3·29	2·85
7	33·03	102·91	425·8	370·4	136·3	118·8	12·23	3·95	3·43
8	44·57	95·09	773·8	670·9	362·7	307·3	29·90	3·53	3·06
	36·02	**102·40**	**628·2**	**544·9**	**230·2**	**194·9**	**21·13**	**3·36**	**2·91**

ansteigender Bahn.

	l	m	n	o	p	q	r	s	t
	Alveoläre Gasspannung in *mm* Hg		Geatmet pro Minute und Millmeter Gastension in der Lunge				Reduziertes Atemvolumen *l* pro Minute	Pro Meterkilogramm Steigarbeit geatmet cm^3 Luft	
			pro *mm* CO_2-Tension		pro *mm* O_2-Tension				
	CO_2	O_2	unreduz.	reduz.	unreduz.	reduz.		unreduz.	reduz.
			cm^3 Luft						
	Sommer.								
9	40·34	94·10	784·9	695·6	336·8	298·5	28·06	45·2	40·0
10	37·55	97·28	888·1	750·9	327·2	289·7	28·18	46·3	41·0
11	37·16	97·99	940·9	831·9	356·8	315·5	30·91	48·9	42·2
12	39·54	102·86	896·6	792·6	344·7	304·7	31·34	44·6	39·4
	38·64	**98·05**	**877·6**	**767·7**	**341·3**	**302·1**	**29·62**	**46·2**	**40·6**

General-

Verhalten der Atemmechanik und der

a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	
Tag	Nr.	Steigarbeit pro Minute *mkg*	Atemvolumen unreduz. *l*	Zahl der Atemzüge	Volum eines Atemzuges *cm³*	Zusammensetzung der Exspirationsluft in Prozenten		Zusammensetzung der Lungenluft in Prozenten		
			pro Minute	pro Minute		CO_2	O_2	CO_2	O_2	
Wien,										
9. Februar 1907 .	285	571·7	28·60	67·5	423·5	6·75	12·77	10·85	8·19	13
	286	673·1	38·38	60·5	633·7	5·53	13·65	7·39	11·19	14
	287	546·0	31·50	65·7	479·2	5·75	13·43	8·88	10·30	15
Mittel . .		**586·9**	**32·82**	**64·5**	**512·1**	**6·01**	**13·28**	**9·04**	**9·89**	
Monte										
29. August 1906 .	157	358·3	47·83	36·4	1314·2	4·49	15·94	5·11	15·24	16
	158	459·5	42·52	35·6	1184·8	6·06	14·30	7·00	13·28	17
	159	553·5	48·02	38·0	1265·3	5·93	14·57	6·79	13·65	18
30. August 1906 .	166	505·7	45·16	39·2	1152·5	6·19	14·35	7·19	13·29	19
	167	431·0	43·56	45·4	958·9	6·19	14·35	7·43	13·04	20
	168	541·0	47·00	41·8	1123·8	6·69	13·80	7·80	12·62	21
Mittel . .		**474·8**	**45·68**	**39·4**	**1166·5**	**5·92**	**14·55**	**6·88**	**13·52**	

tabelle X (Schluß).

Gasspannungen in der Lunge bei der Arbeit.

	l	m	n	o	p	q	r	s	t
	Alveoläre Gasspannung in *mm* Hg		Geatmet pro Minute und Millimeter Gastension in der Lunge				Reduziertes Atemvolumen	Pro Meterkilogramm Steigarbeit geatmet *cm*³ Luft	
			pro *mm* CO_2-Tension		pro *mm* O_2-Tension		*l* pro Minute		
	CO_2	O_2	unreduz.	reduz.	unreduz.	reduz.		unreduz.	reduz.
			*cm*³ Luft						
Winter.									
13	75·50	57·03	378·8	369·6	501·5	489·4	27·91	50·0	48·8
14	51·49	77·89	745·4	727·9	492·8	481·2	37·48	57·0	55·7
15	61·82	71·54	509·5	497·0	440·3	429·5	30·73	57·7	56·3
	62·93	**68·82**	**544·5**	**531·5**	**478·2**	**466·7**	**32·04**	54·9	**53·3**
Rosa.									
16	20·84	62·17	2294·5	1266·1	769·3	427·9	26·60	133·5	74·2
17	28·55	54·16	1489·4	857·9	785·0	425·1	24·49	92·5	53·3
18	27·69	55·69	1733·4	1007·0	862·1	500·8	27·89	86·7	50·4
19	29·38	54·31	1537·2	848·6	831·6	454·8	24·93	89·3	49·3
20	30·35	53·25	1435·2	792·0	818·0	451·4	24·04	101·0	52·0
21	31·87	51·55	1474·5	812·2	911·7	502·2	25·89	86·9	47·8
	28·11	**55·18**	**1660·7**	**930·6**	**829·6**	**460·3**	**25·67**	**98·3**	**54·3**

General-

Reichel. Verhalten der Atemmechanik und der

a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*	
Tag	Nr.	Barometer-stand *mm* Hg	Atemvolumen unreduziert Liter pro Minute	Zahl der Atemzüge pro Minute	Volum eines Atemzuges *cm*³	Zusammensetzung der Exspirationsluft in Prozenten		
						CO_2	O_2	
							Wien,	
9. Juni 1906	11	742·1	7·02	15·5	452·9	3·48	16·85	1
	12	742·1	7·42	17·0	436·5	3·29	17·06	2
	13	742·1	7·43	15·6	476·3	3·39	16·77	3
	14	742·1	7·42	15·5	478·1	3·22	16·94	4
	15	742·1	7·34	17·2	417·0	3·25	17·16	5
10. Juni 1906	16	742·5	7·30	16·0	456·0	3·33	17·03	6
	17	742·5	6·96	14·2	490·1	3·20	16·96	7
	18	742·5	7·17	13·3	539·1	3·22	16·95	8
	19	742·5	7·66	16·5	463·4	3·06	17·18	9
	20	742·5	7·42	16·4	452·4	3·12	17·00	10
Mittel . .		**742·2**	**7·31**	**15·7**	**466·1**	**3·25**	**16·99**	
							Wien,	
8. Jänner 1907	232	752·4	7·58	14·8	512·3	3·28	17·01	11
	233	752·4	7·11	12·6	551·4	3·37	16·88	12
	234	752·4	6·94	12·3	562·2	3·59	16·79	13
9. Jänner 1907	238	750·3	7·30	14·4	506·9	3·54	16·98	14
	239	750·3	6·72	12·7	529·1	3·48	16·75	15
	240	750·3	6·90	14·6	472·6	3·52	16·73	16
Mittel . .		**751·3**	**7·09**	**13·6**	**522·4**	**3·46**	**16·89**	
							Wien,	
4. März 1907	399	755·7	7·23	13·3	542·8	3·11	17·30	17
	400	755·7	6·87	10·8	635·8	3·34	16·93	18
	401	755·7	7·41	12·3	603·7	3·16	17·12	19
	402	755·7	7·41	13·0	571·3	3·12	17·21	20
Mittel . .		**755·7**	**7·23**	**12·3**	**588·4**	**3·18**	**17·14**	
							Wien, nach	
16. Jänner 1907	268	750·4	6·50	12·4	536·4	3·79	16·57	21
	269	750·4	6·65	13·2	539·4	3·57	16·77	22
Mittel . .		**750·4**	**6·57**	**12·8**	**537·9**	**3·68**	**16·67**	

tabelle XI.

Gasspannungen in der Lunge bei Körperruhe.

	i	*k*	*l*	*m*	*n*	*o*	*p*	*q*	*r*
	Zusammensetzung der Lungenluft in Prozenten		Alveoläre Gasspannung in *mm* Hg		Geatmet pro Minute und pro *mm* Gastension in der Lunge				Reduz. Atem-volumen
					pro *mm* CO_2-Tension		pro *mm* O_2-Tension		
	CO_2	O_2	CO_2	O_2	unred. cm^3 Luft	reduz. cm^3 Luft	unred. cm^3 Luft	reduz. cm^3 Luft	*l*
Sommer.									
1	5·38	14·6	37·41	101·9	187·7	168·9	68·87	62·02	6·32
2	5·20	14·8	36·14	103·1	205·3	184·6	71·99	64·71	6·67
3	5·11	14·7	35·50	101·9	209·3	188·3	72·85	65·50	6·68
4	4·84	14·9	33·62	101·6	215·6	198·3	71·37	64·15	6·67
5	5·27	14·8	36·69	103·0	200·1	179·7	71·26	63·99	6·59
6	5·13	14·9	35·70	103·8	199·9	185·3	70·28	63·55	6·60
7	4·75	15·0	33·08	104·7	210·5	189·9	66·50	60·00	6·28
8	4·58	15·3	31·87	103·8	225·0	198·4	67·47	60·89	6·47
9	4·67	15·2	32·50	103·5	235·7	212·8	72·37	65·32	6·91
10	4·83	14·9	33·65	103·5	220·5	198·6	71·70	64·54	6·68
	4·97	**14·9**	**34·61**	**103·2**	**210·9**	**190·4**	**70·46**	**63·46**	**6·59**
Winter.									
11	4·77	15·2	34·47	107·5	225·0	207·2	70·47	64·91	6·98
12	4·75	15·2	34·29	107·5	212·2	195·5	66·18	60·96	6·55
13	5·01	15·1	35·37	106·4	196·2	180·7	64·91	59·77	6·39
14	5·14	15·2	36·40	106·7	200·7	180·7	68·42	63·08	6·73
15	4·99	14·9	34·93	105·1	191·5	182·2	63·94	59·00	6·20
16	5·32	14·7	34·94	102·6	197·4	182·3	67·27	62·11	6·37
	4·99	**15·0**	**35·06**	**105·9**	**203·8**	**188·1**	**66·86**	**61·63**	**6·45**
Frühling.									
17	4·43	15·8	31·42	112·3	230·2	212·3	64·42	59·41	6·67
18	4·46	15·6	31·65	110·6	217·0	196·2	62·10	58·60	6·48
19	4·69	15·6	33·23	110·9	224·1	201·2	66·85	61·67	6·84
20	4·34	15·8	30·75	111·7	241·2	215·9	66·35	61·13	6·83
	4·48	**15·7**	**31·76**	**111·3**	**228·1**	**206·4**	**64·93**	**60·20**	**6·71**
Semmering.									
21	5·45	14·7	38·40	103·1	169·3	156·3	63·03	58·32	6·00
22	5·23	14·8	36·82	104·4	180·5	165·8	63·73	58·48	6·10
	5·34	**14·7**	**37·61**	**103·7**	**174·9**	**161·0**	**63·38**	**58·40**	**6·05**

General-

Reichel. Verhalten der Atemmechanik und der

a	b	c	d	e	f	g	h	
Tag	Nr.	Barometerstand *mm* Hg	Atemvolumen unreduziert Liter pro Minute	Zahl der Atemzüge pro Minute	Volum eines Atemzuges cm^3	Zusammensetzung der Exspirationsluft in Prozenten		
						CO_2	O_2	
							Semme-	
12. Jänner 1907	241	681·6	7·038	14·3	492·2	3·79	16·44	1
	242	681·6	6·950	14·0	496·4	3·81	16·44	2
	243	681·6	7·180	12·4	579·0	3·98	16·14	3
13. Jänner 1907	246	678·5	6·750	12·1	557·8	3·58	16·86	4
	247	678·5	6·963	16·2	429·8	3·57	17·04	5
14. Jänner 1907	260	678·8	7·188	13·1	548·7	3·63	16·87	6
	261	678·8	6·956	12·4	560·9	3·55	16·88	7
Mittel . .		**679·9**	**7·003**	**13·5**	**520·7**	**3·70**	**16·66**	
							Alagna.	
6. September 1907 . . .	210	660·8	7·625	15·5	491·9	3·55	16·89	8
	211	660·8	7·300	16·4	445·1	3·56	16·89	9
	212	660·8	7·210	15·0	480·4	3·61	16·95	10
8. September 1907 . . .	219	662·8	7·375	18·5	398·7	3·53	16·90	11
	221	662·8	7·551	17·0	444·2	3·57	16·79	12
	222	662·8	7·442	16·1	463·8	3·55	16·86	13
Mittel . .		**661·8**	**7·417**	**16·4**	**454·0**	**3·56**	**16·88**	
							Monte	
9. August 1896	105	438·5	12·16	18·0	675·6	3·71	16·46	14
	106	438·5	11·00	20·0	550·0	3·98	15·98	15
11. August 1896	111	436·6	11·67	18·1	644·8	3·97	16·40	16
	112	439·6	11·46	19·0	603·2	3·88	16·27	17
13. August 1896	124	439·6	12·08	18·5	653·0	3·88	16·59	18
	125	439·6	11·00	21·1	521·3	3·94	16·39	19
Mittel . .		**438·7**	**11·56**	**19·1**	**607·9**	**3·89**	**16·35**	

tabelle XII.

Gasspannungen in der Lunge bei Körperruhe.

	i	*k*	*l*	*m*	*n*	*o*	*p*	*q*	*r*
	Zusammensetzung der Lungenluft in Prozenten		Alveoläre Gasspannung in *mm* Hg		Geatmet pro Minute und pro *mm* Gastension in der Lunge				Reduz. Atem-volumen
					pro *mm* CO_2-Tension		pro *mm* O_2-Tension		
	CO_2	O_2	CO_2	O_2	unred. cm^3 Luft	reduz. cm^3 Luft	unred. cm^3 Luft	reduz. cm^3 Luft	*l*
ring.									
1	5·65	14·3	35·84	90·7	196·4	166·6	77·61	65·79	5·97
2	5·62	14·3	35·70	90·4	194·7	165·4	76·88	65·30	5·90
3	5·50	14·3	34·93	90·8	205·5	174·7	79·03	67·13	6·10
4	5·02	15·2	32·46	96·8	207·9	175·7	70·18	59·32	5·71
5	5·69	14·7	35·95	93·0	193·7	163·6	74·81	63·12	5·88
6	5·12	15·2	32·40	96·1	221·9	188·1	74·82	63·42	6·09
7	4·97	15·3	31·40	96·5	221·5	187·3	72·09	60·95	5·88
	5·36	**14·7**	**34·09**	**93·4**	**205·9**	**174·4**	**75·06**	**63·57**	**5·93**
8	5·26	14·9	32·31	91·8	215·2	187·9	75·79	66·17	6·07
9	5·46	14·7	33·55	89·6	217·5	179·7	81·50	64·71	5·79
10	5·42	14·5	33·25	88·8	216·7	171·1	81·16	64·07	5·69
11	5·90	14·5	36·33	89·5	203·0	162·3	82·42	65·88	5·90
12	5·57	14·4	34·32	89·1	220·8	175·8	85·02	67·70	6·03
13	5·42	14·1	33·38	87·0	228·9	156·6	85·80	60·07	5·93
	5·50	**14·5**	**33·85**	**89·3**	**217·0**	**172·7**	**81·94**	**64·76**	**5·90**
Rosa.									
14	4·86	15·0	19·06	59·1	638·2 (?)	354·8	205·85	114·44	6·76
15	5·61	14·7	22·00	57·4	500·1	277·6	191·52	106·55	6·12
16	5·28	14·9	20·59	57·9	566·7	314·5	201·43	111·83	6·48
17	5·28	14·6	20·60	56·9	556·5	308·9	201·52	111·85	6·36
18	5·14	15·1	20·19	59·7	598·2	350·1	202·51	118·52	7·07
19	5·69	14·3	22·34	56·5	492·3	295·9	194·70	117·00	6·16
	5·31	**14·7**	**20·79**	**57·9**	**558·6**	**316·9**	**199·58**	**113·36**	**6·57**

General-

Reichel. Verhalten der Atemmechanik und der

a	b	c	d	e	f	g	h	
Tag	Nr.	Barometerstand *mm* Hg	Atemvolumen unreduziert Liter pro Minute	Zahl der Atemzüge pro Minute	Volum eines Atemzuges *cm*³	Zusammensetzung der Exspirationsluft in Prozenten		
						CO_2	O_2	
Monte								
31. August 1906	176	431·2	10·41	18·4	565·7	4·10	16·12	1
	177	431·2	11·39	18·4	619·0	3·82	16·53	2
1. September 1906 . . .	184	433·9	10·96	16·3	672·4	4·25	16·36	3
	185	433·9	10·29	16·0	643·1	4·32	16·13	4
Mittel . .		**432·5**	**10·76**	**17·2**	**625·0**	**4·12**	**16·28**	
Monte Rosa								
15. August 1906	128	443·8	12·03	21·3	577·9	3·72	16·27	5
	129	443·8	13·88	24·4	568·8	3·60	16·16	6
16. August 1906	132	437·5	12·08	20·1	601·0	3·50	16·34	7
	133	437·5	11·82	19·5	606·2	3·55	16·30	8
20. August 1906	140	432·0	11·63	16·4	709·2	4·11	16·00	9
	141	432·0	11·93	19·9	599·5	3·93	15·92	10
Mittel . .		**437·8**	**12·23**	**20·2**	**610·4**	**3·73**	**16·16**	

tabelle XII. (Fortsetzung.)

Gasspannungen in der Lunge bei Körperruhe.

	i	*k*	*l*	*m*	*n*	*o*	*p*	*q*	*r*
	Zusammensetzung der Lungenluft in Prozenten		Alveoläre Gasspannung in *mm* Hg		Geatmet pro Minute und pro *mm* Gastension in der Lunge				Reduz. Atem-volumen *l*
					pro *mm* CO_2-Tension		pro *mm* O_2-Tension		
	CO_2	O_2	CO_2	O_2	unred. cm^3 Luft	reduz. cm^3 Luft	unred. cm^3 Luft	reduz. cm^3 Luft	
	Rosa.								
1	5·85	14·2	22·50	54·7	462·6	248·9	190·31	102·38	5·60
2	5·15	15·0	19·94	57·6	571·0	307·3	197·62	106·38	6·13
3	5·58	14·9	21·59	57·8	507·4	276·4	189·55	103·25	5·97
4	5·72	14·5	22·16	56·3	464·1	252·2	182·84	99·33	5·59
	5·57	**14·6**	**21·54**	**56·6**	**501·2**	**271·2**	**190·08**	**102·83**	**5·66**
	nach Märschen.								
5	5·14	14·5	20·43	57·5	588·7	324·5	209·10	115·24	6·63
6	5·01	14·3	19·90	56·7	697·6	384·5	244·80	134·73	7·65
7	4·77	14·9	18·65	57·1	647·9	374·5	206·80	119·49	6·98
8	4·82	14·6	19·30	57·2	641·5	351·6	206·57	115·86	6·63
9	5·43	14·6	20·94	56·1	682·5	306·8	207·34	114·11	6·40
10	5·36	14·1	20·66	54·3	677·5	318·0	219·74	121·01	6·57
	5·09	**14·5**	**19·98**	**56·4**	**655·9**	**343·3**	**215·72**	**120·07**	**6·81**

General-

Reichel. Verhalten der Atemmechanik und der

Horizontal-

a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	
Tag	Nr.	Pro Minute Meter Weges *mkg*	Atem-volumen unreduz. *l*	Zahl der Atemzüge	Volum eines Atemzuges *cm*³	Zusammensetzung der Exspirationsluft in Prozenten		Zusammensetzung der Lungenluft in Prozenten		
			pro Minute	pro Minute		CO_2	O_2	CO_2	O_2	
Wien.										
28. Juni 1907 . .	344	100·8	29·15	17·6	1652·8	4·88	15·54	5·40	14·96	1
	345	96·4	28·93	15·8	1826·7	4·81	15·56	5·27	15·05	2
	346	94·8	26·74	15·9	1687·3	4·97	15·38	5·49	14·80	3
29. Juni 1907 . .	347	95·2	27·16	16·1	1683·3	4·88	15·43	5·39	14·85	4
	348	95·2	27·37	15·9	1720·2	4·96	15·35	5·47	14·78	5
	349	75·9	21·57	15·8	1367·8	4·80	15·46	5·44	14·74	6
	350	59·3	19·95	14·0	1421·2	4·38	15·99	4·94	15·40	7
Mittel . .		**88·2**	**25·83**	**15·8**	**1622·7**	**4·81**	**15·53**	**5·34**	**14·94**	
Semme-										
13. Jänner 1907 .	351	93·2	26·23	18·1	1445·8	4·53	15·43	5·09	13·81	8
	352	99·0	25·45	16·3	1566·2	4·90	14·80	5·46	14·10	9
	353	99·2	25·39	16·4	1551·5	4·81	14·93	5·36	14·25	10
	354	93·6	24·23	16·6	1448·7	4·82	15·03	5·41	14·23	11
14. Jänner 1907 .	366	103·5	30·77	18·4	1668·9	4·79	15·20	5·30	14·58	12
	367	103·9	29·34	17·9	1641·1	4·87	15·03	5·40	14 43	13
Mittel . .		**98·7**	**26·90**	**17·2**	**1553·7**	**4·78**	**15·07**	**5·33**	**14·23**	

tabelle XIII.

Gasspannungen in der Lunge bei der Arbeit.

marschversuche.

	l	m	n	o	p	q	r	s	t
	Alveoläre Gasspannung in *mm* Hg		Geatmet pro Minute und Millimeter Gastension in der Lunge				Reduziertes Atemvolumen *l* pro Minute	Pro Meter und Kilogramm Horizontalbewegung geatmet *cm*³ Luft	
			pro *mm* CO_2-Tension		pro *mm* O_2-Tension				
	CO_2	O_2	unreduz.	reduz.	unreduz.	reduz.		unreduziert	reduziert
			*cm*³ Luft						
1	37·61	103·64	773·8	681·3	279·5	246·1	25·62	2·88	2·53
2	36·69	104·72	788·5	692·8	276·3	242·7	25·42	2·99	2·63
3	38·21	103·00	699·7	614·9	260·2	228·2	23·50	2·81	2·47
4	37·54	103·38	723·6	634·9	262·7	230·5	23·80	2·85	2·49
5	38·07	102·86	719·0	630·3	266·1	233·2	23·99	2·86	2·51
6	37·83	102·63	570·1	497·7	210·3	183·2	18·83	2·83	2·47
7	34·35	104·87	580·7	507·7	190·5	166·5	17·44	[1·98(?)]	[1·73]
	37·18	**103·58**	**693·6**	**608·5**	**249·3**	**218·6**	**22·67**	**2·87**	**2·52**

ring.

	l	m	n	o	p	q	r	s	t
8	31·90	86·25	822·2	704·2	304·1	260·5	22·99	2·94	2·53
9	34·09	88·07	746·6	651·3	288·9	252·0	22·20	2·69	2·35
10	33·50	89·01	756·3	660·6	285·2	248·6	22·13	2·68	2·33
11	33·81	88·86	716·3	624·3	272·7	237·6	21·11	2·71	2·36
12	32·98	90·81	933·1	815·6	338·9	296·3	26·90	3·12	2·72
13	33·59	89·81	873·5	818·7	326·7	306·2	25·50	2·95	2·77
	33·31	**88·80**	**808·0**	**712·4**	**302·7**	**266·8**	**23·47**	**2·85**	**2·51**

General-

Reichel. Verhalten der Atemmechanik und der

Marsch auf

a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	
Tag	Nr.	Steigarbeit pro Minute *mkg*	Atemvolumen unreduz. *l*	Zahl der Atemzüge	Volum eines Atemzuges *cm*³	Zusammensetzung der				
						Exspirationsluft in		Lungenluft in		
						Prozenten				
			pro Minute			CO_2	O_2	CO_2	O_2	
									Wien,	
16. Juni 1907 . .	430	1045·3	47·74	22·0	2171·2	5·26	14·97	5·68	14·50	1
	431	1037·1	48·91	22·1	2315·9	5·13	15·12	5·55	14·70	2
	432*a*	1050·8	47·09	23·1	2040·4	5·02	15·29	5·44	14·78	3
	432*b*	1079·3	50·92	21·5	2369·0	5·37	14·88	5·78	14·50	4
Mittel . .		**1053·1**	**48·66**	**22·1**	**2224·1**	**5·19**	**15·06**	**5·61**	**14·62**	
									Wien,	
8. Februar 1907 .	372	826·4	37·72	21·2	1783·7	5·63	14·61	6·18	13·98	5
	373	878·9	46·35	21·3	2172·6	5·34	15·05	5·77	14·59	6
	374	839·8	44·83	21·0	2134·8	5·17	14·99	5·59	14·51	7
	375	877·9	46·52	21·9	2128·0	5·36	14·90	5·80	14·41	8
Mittel . .		**855·7**	**43·60**	**21·7**	**2054·7**	**5·37**	**14·89**	**5·83**	**14·37**	
									Monte	
29. August 1906 .	152	483·2	49·47	31·4	1573·5	5·24	16·79	5·38	16·36	9
	153	499·0	52·45	34·5	1522·4	4·92	14·99	5·50	14·29	10
	154	503·3	53·58	34·3	1564·3	5·00	15·17	5·57	14·52	11
30. August 1906 .	163	464·5	52·36	34·3	1525·5	5·12	15·06	5·73	14·40	12
	164	493·7	53·68	34·8	1511·0	5·20	15·11	5·49	14·76	13
	165	409·3	43·64	28·3	1543·2	5·30	14·94	5·91	14·25	14
Mittel . .		**475·5**	**50·83**	**32·9**	**1539·9**	**5·13**	**15·34**	**5·74**	**14·76**	

tabelle XIII (Fortsetzung).

Gasspannungen in der Lunge bei der Arbeit.

ansteigender Bahn.

	l	m	n	o	p	q	r	s	t
	Alveoläre Gasspannung in *mm* Hg		Geatmet pro Minute und Millimeter Gastension in der Lunge				Reduziertes Atemvolumen *l* pro Minute	Pro Meterkilogramm Steigarbeit geatmet *cm*³ Luft	
			pro *mm* CO_2-Tension		pro *mm* O_2-Tension				
	CO_2	O_2	unreduz. *cm*³ Luft	reduz. *cm*³ Luft	unreduz. *cm*³ Luft	reduz. *cm*³ Luft		unreduziert	reduziert
Sommer.									
1	33·85	97·89	1245·0	1107·1	487·8	433·7	42·45	45·7	41·6
2	37·22	99·20	1314·2	1165·3	493·0	437·2	43·37	47·2	41·8
3	36·71	99·81	1282·8	1136·2	471·8	435·6	41·71	44·8	39·7
4	39·04	97·91	1304·2	1155·1	520·1	460·6	45·10	47·2	41·8
	36·70	**98·70**	**1286·5**	**1140·9**	**493·1**	**441·7**	**43·16**	**46·2**	**41·2**
Winter.									
5	42·37	95·91	890·2	848·9	393·2	375·2	35·97	45·6	43·5
6	39·50	99·92	1173·4	1119·7	463·8	442·6	44·33	52·7	50·4
7	38·27	99·35	1171·3	1125·4	451·0	432·5	42·97	54·6	51·2
8	39·69	98·67	1172·1	1122·8	471·5	451·6	44·56	53·0	50·8
	39·95	**98·46**	**1101·7**	**1054·2**	**444·8**	**425·4**	**42·45**	**51·5**	**49·0**
Rosa.									
9	23·80	(66·77)	2078·7	1180·8	740·9	420·8	28·10	102·4	58·0
10	22·75	58·31	2338·4	1325·7	899·6	508·9	29·67	105·1	59·4
11	22·72	59·21	2357·8	1348·3	904·8	517·4	30·64	109·0	60·9
12	23·42	58·85	2235·4	1226·6	889·7	477·0	28·73	113·0	61·8
13	24·29	60·32	2209·5	1218·4	889·9	490·7	29·60	124·8	59·9
14	24·16	58·22	2273·8	1001·0	749·6	414·5	24·13	103·2	59·0
	23·52	**60·28**	**2248·9**	**1216·8**	**845·7**	**471·5**	**28·47**	**109·6**	**59·8**